

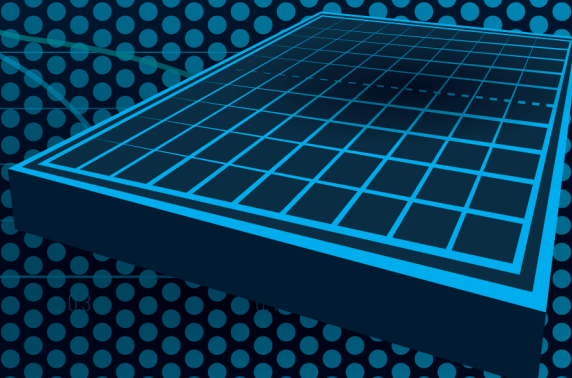
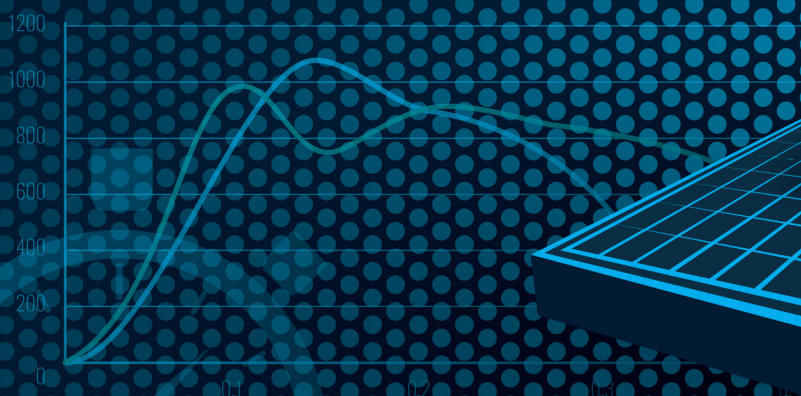
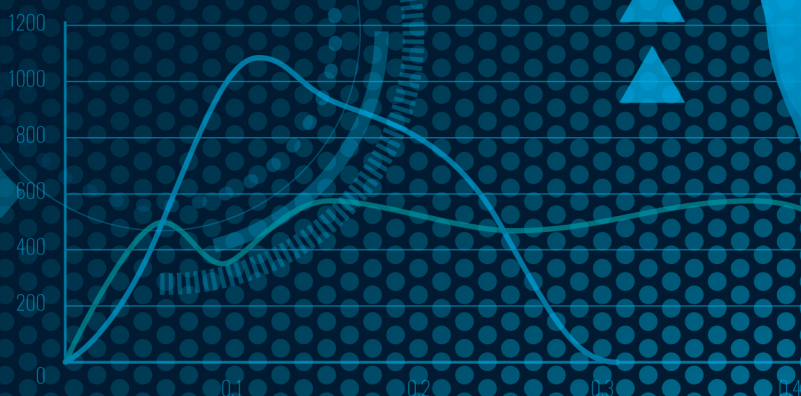
TESIS DOCTORAL

# LA RELEVANCIA DE LA PROFUNDIDAD DEL CONTRAMOVIMIENTO EN EL RENDIMIENTO DEL SALTO VERTICAL



Alberto Sánchez Sixto | 2018

DIRECTOR: Pablo Floría Martín





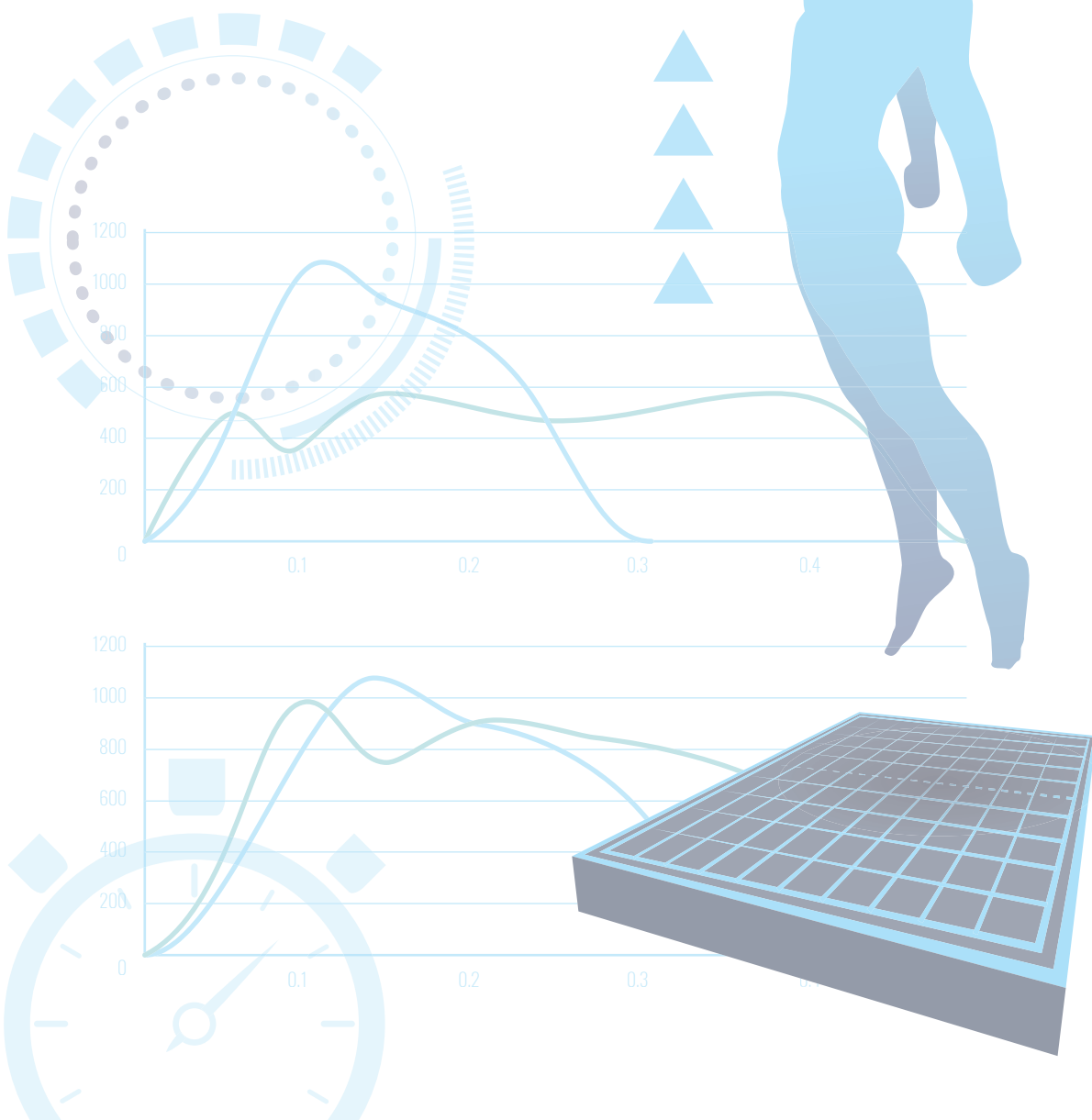
TESIS DOCTORAL

# LA RELEVANCIA DE LA PROFUNDIDAD DEL CONTRAMOVIMIENTO EN EL RENDIMIENTO DEL SALTO VERTICAL



Alberto Sánchez Sixto | 2018

DIRECTOR: Pablo Floría Martín









EL DOCTOR PABLO FLORÍA MARTÍN PROFESOR DEL DEPARTAMENTO DE DEPORTE E INFORMÁTICA Y PROFESOR DEL PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA DEL DEPORTE DE LA UNIVERSIDAD PABLO DE OLAVIDE

CERTIFICA QUE:

La Tesis Doctoral titulada: *“La relevancia de la profundidad del contramovimiento en el rendimiento del salto vertical”* realizada por D. ALBERTO SÁNCHEZ SIXTO, ha sido realizada bajo mi dirección, cumpliendo con los requisitos de calidad, originalidad y rigor científico necesarios a mi juicio. De este modo autorizo su depósito, defensa y presentación ante el Tribunal designado por la Universidad Pablo de Olavide.

Y para que así conste, expido y firmo este informe en Sevilla, a 7 de mayo de 2018.

Dr. Pablo Floría Martín



*“En cuestiones de ciencia, la autoridad de mil no vale lo que el  
humilde razonamiento de un solo individuo”*

**Galileo Galilei (1564-1642)**



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera agradecer a mi director de tesis, Pablo Floría Martín, todo el apoyo y ayuda que me ha ofrecido para llevar a cabo este trabajo. Él es el principal responsable de que hoy esté escribiendo estas palabras. Aunque realmente y siendo honesto, sería muy injusto agradecerle solamente la implicación que ha tenido en la tesis, ya que desde cuarto de carrera y de forma absolutamente desinteresada, se prestó a ayudarme en todas las inquietudes que me iban surgiendo, muchas de ellas generadas por el mismo. Sin todas las oportunidades ofrecidas, posiblemente hoy estaría desempeñando una labor bien distinta, pero gracias a su apoyo y dedicación, hoy puedo decir lo contrario. Ha sido un ejemplo a seguir a nivel personal y profesional desde el inicio.

Tengo que agradecer también a mi familia (mi madre María del Carmen, mi padre José Alberto, mi hermano Pablo y mi abuela Inés) con los que he tenido la suerte de convivir toda la vida. Ellos son los responsables de mi formación, de muchos de los valores en los que creo y, en cierta forma, de ser como soy a día de hoy. He tenido la suerte de gozar de todas las oportunidades que cualquiera podría desear y siempre he notado la confianza de ellos en lo que hacía. Hoy soy el producto que vosotros creasteis y que habéis ido modelando con el paso de estos 29 años.

Agradezco también a mi pareja Cristina, que es a la que le toca soportar el tiempo y esfuerzo que supone esta tesis, junto con el resto de actividades que llevo simultáneamente. Es la persona responsable de mi estabilidad emocional, la cual me permite sacar la mejor de mí, día tras día. Es esa persona capaz de comprender la importancia que tiene para mí lo que hago y servirme siempre de apoyo. Gracias por dar sentido a mi vida, por el cariño diario y por conseguir que cada día pase volando desde que estoy a tu lado.

Es de recibo agradecer a todos los que han participado de manera absolutamente voluntaria en los distintos estudios de esta tesis, que han invertido parte de su tiempo en algo que ni les iba ni les venía, haciéndolo con ánimo y entusiasmo. Especial mención al equipo Senior Femenino del Náutico, por la implicación y las buenas temporadas de las que disfrutamos. Sin la participación de todos vosotros, esta tesis nunca se hubiera podido realizar, sois aquello que nadie ve, pero que de no existir, no habría más que nada.

Gracias a todos mis compañeros de la Fundación CEU San Pablo Andalucía, porque aunque de lunes a viernes vayamos a trabajar, hay personas que en sus vacaciones se divierten menos que nosotros cada día en el trabajo. Sois muchos los que habéis estado encima mía para que terminara con ella, y por fin, ahora ya de verdad puedo decir: “Ya he terminado la tesis”. Quiero hacer una mención especial a nuestro compañero Guillermo Domenech,

responsable de la portada de esta tesis, por ofrecerte a invertir parte de tu tiempo en ello.

Por último, agradecer a todas las personas que de manera directa o indirecta, han generado un impacto en mi vida, ya que la suma de todo ello, es el resultado de lo que soy hoy y la base de lo que seré mañana.





## RESUMEN

En la presente tesis doctoral se plantearon tres objetivos principales. Todos ellos giran en torno a la influencia de la profundidad del contramovimiento sobre el rendimiento del salto vertical. Para dar respuesta a todos los objetivos propuestos se realizaron tres estudios.

El primer estudio tuvo como objetivo determinar la influencia de las variables relacionadas con la aplicación de fuerza y la profundidad del centro de masas en las diferencias en la altura saltada entre el salto sin contramovimiento (SJ) y el salto con contramovimiento (CMJ). Participaron veintiséis hombres, realizando tres SJ y tres CMJ con 90° de flexión de rodilla. El desplazamiento del centro de masas y la fuerza media durante la fase de propulsión fueron significativamente superiores en el CMJ en comparación con el SJ, explicando el 75% de la diferencia entre los dos saltos y teniendo un 30% más de influencia el desplazamiento del centro de masas. No hubo diferencias en la fuerza máxima. Los resultados sugieren la necesidad de examinar diferencia entre el SJ y el CMJ cuando el criterio establecido es 90° de flexión de rodilla.

El segundo estudio tuvo como objetivo determinar cómo modificaciones en la profundidad del contramovimiento del salto vertical podrían dar lugar, tanto a cambios en el rendimiento del salto vertical, como a cambios en parámetros relacionados con la

fuerza aplicada y velocidad generada. Veintinueve hombres activos participaron en esta investigación, realizando nueve saltos con contramovimiento variando su profundidad: tres con una profundidad libremente seleccionada, tres con una profundidad mayor que la autoseleccionada y tres con una profundidad menor que la autoseleccionada. La altura de salto y el impulso neto relativo fueron mayores cuando el salto fue ejecutado con mayor profundidad que cuando fue libremente seleccionado. Las variables de aplicación de fuerza no mostraron diferencias entre el salto con mayor profundidad y el libremente seleccionado, aunque el salto con menor profundidad de contramovimiento mostró valores superiores en los parámetros de aplicación de fuerza. El salto con mayor profundidad mostró mayores velocidades del centro de masas que los saltos autoseleccionados, mientras que el salto con menor profundidad dio lugar a menores velocidades que el autoseleccionado. Los resultados de esta investigación fueron consistentes con estudios de simulación, mostrando que una mayor profundidad del contramovimiento daba lugar a incrementos en el impulso neto relativo, permitiendo una mayor altura de salto. Además, la velocidad máxima durante el contramovimiento fue superior cuando este era más profundo. Por último, no se necesitó de valores superiores en las variables de aplicación de fuerza para obtener incrementos en la altura saltada, cuando el desplazamiento del centro de masas era mayor.

El tercer estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto del entrenamiento pliométrico y el entrenamiento combinado de pesas y pliometría en las variables de fuerza, potencia, velocidad, tiempo y desplazamiento que determinan el rendimiento en el salto vertical. Treinta y seis jugadoras de baloncesto participaron en este estudio y se dividieron en 3 grupos: entrenamiento pliométrico,  $n = 11$ ; entrenamiento combinado de pesas y pliometría,  $n = 13$ ; y control,  $n = 12$ . El entrenamiento combinado consistió en ejercicios de sentadilla profunda con cargas ligeras (50-65% 1RM) y pocas repeticiones (3-6 repeticiones/serie) combinado con saltos repetidos. El entrenamiento pliométrico incluyó saltos con caída (drop jump) y saltos repetidos. Los dos métodos de entrenamiento mostraron un incremento en el rendimiento del salto, en los que el tamaño del efecto fue substancial y moderado, aunque el entrenamiento combinado de pesas y pliometría obtuvo valores superiores al entrenamiento pliométrico. Los dos métodos de entrenamiento incrementaron la velocidad vertical y el desplazamiento del centro de masas. En cuanto a la fuerza aplicada, tras el entrenamiento pliométrico, se vieron disminuidas las variables de aplicación de fuerza del salto vertical, mientras que tras el entrenamiento combinado de fuerza y pliometría se obtuvieron valores similares. La potencia generada durante el salto vertical se incrementó con el entrenamiento combinado y se mantuvo estable con el entrenamiento pliométrico. Los resultados indican que el entrenamiento

combinado de pesas y pliometría podría ser un método más completo a la hora de mejorar el rendimiento del salto vertical.

Las principales conclusiones de la presente tesis doctoral se asocian a cada uno de los objetivos marcados. En este sentido podemos dividirlos en tres grandes conclusiones. En primer lugar, el criterio de 90° de flexión de rodilla parece ser insuficiente para asegurar que el desplazamiento del centro de masas sea el mismo entre el SJ y el CMJ. Además, esta diferencia en el desplazamiento de masas es la principal responsable de las diferencias en la altura saltada entre ambos saltos. En segundo lugar, una orden simple que incremente la profundidad del contramovimiento, puede dar lugar a incrementos en el rendimiento del salto vertical. Además, las variables de aplicación de fuerza se ven modificadas con la profundidad del contramovimiento y valores superiores no necesariamente generan incrementos en la altura saltada. En tercer lugar, el entrenamiento combinado de pesas y pliometría parece ser un método más completo que el entrenamiento pliométrico para la mejora del rendimiento del salto vertical. El entrenamiento combinado fue capaz de incrementar las variables de potencia, velocidad y desplazamiento del centro de masas manteniendo las variables de fuerza, mientras que el entrenamiento pliométrico trajo como consecuencia incrementos en la velocidad y desplazamiento del centro de masas pero disminuciones variables de aplicación de fuerza, como la fuerza máxima, durante el salto vertical.

# ÍNDICE

<b>1. ESTADO DE LA CUESTIÓN</b>	<b>25</b>
<b>1.1 El salto vertical en la actualidad</b>	<b>25</b>
<b>1.2 Metodologías de medición del salto vertical</b>	<b>27</b>
<i>1.2.1 La medición del salto a través de la distancia entre dos puntos</i>	<i>27</i>
<i>1.2.2 La medición del salto a través de tiempo de vuelo</i>	<i>29</i>
<i>1.2.3 La medición del salto a través de la aceleración</i>	<i>31</i>
<i>1.2.4 La medición del salto a través de la velocidad</i>	<i>34</i>
<i>1.2.5 La medición del salto a través de la fuerza aplicada</i>	<i>36</i>
<b>1.3 Tipos de salto</b>	<b>39</b>
<b>1.4 SJ versus CMJ</b>	<b>43</b>
<b>1.5 Rendimiento y profundidad del contramovimiento</b>	<b>50</b>
<b>1.6 Entrenamiento y salto vertical</b>	<b>56</b>
<i>1.6.1 Entrenamiento pliométrico y salto vertical</i>	<i>57</i>
<i>1.6.2 Entrenamiento con pesas y salto vertical</i>	<i>59</i>
<i>1.6.3 Entrenamiento combinado de pesas y pliometría</i>	<i>63</i>
<i>1.6.4 Entrenamiento vibratorio</i>	<i>65</i>
<i>1.6.5 Entrenamiento con electroestimulación</i>	<i>67</i>
<i>1.6.6 Entrenamiento con sobrecarga excéntrica</i>	<i>69</i>

<b>2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE LA TESIS DOCTORAL</b>	<b>75</b>
<b>3. ESTUDIO 1: SJ VS CMJ</b>	<b>81</b>
<b>3.1 Método</b>	<b>81</b>
<i>3.1.1 Participantes</i>	<i>81</i>
<i>3.1.2 Procedimiento</i>	<i>81</i>
<i>3.1.3 Análisis de los datos</i>	<i>85</i>
<i>3.1.4 Análisis estadístico</i>	<i>92</i>
<b>3.2 Resultados</b>	<b>94</b>
<b>3.3 Discusión</b>	<b>98</b>
<b>3.4 Conclusión</b>	<b>102</b>
<b>4. ESTUDIO 2: PROFUNDIDAD DEL SALTO, RENDIMIENTO Y BIOMECÁNICA</b>	<b>107</b>
<b>4.1 Método</b>	<b>107</b>
<i>4.1.1 Participantes</i>	<i>107</i>
<i>4.1.2 Procedimiento</i>	<i>107</i>
<i>4.1.3 Análisis</i>	<i>110</i>
<i>4.1.4 Análisis estadístico</i>	<i>112</i>
<b>4.2 Resultados</b>	<b>113</b>
<b>4.3 Discusión</b>	<b>118</b>
<b>4.4 Conclusión</b>	<b>123</b>



<b>5. ESTUDIO 3: ENTRENAMIENTO, SALTO VERTICAL Y BIOMECÁNICA</b>	<b>127</b>
<b>5.1 Método</b>	<b>127</b>
5.1.1 <i>Diseño</i>	127
5.1.2 <i>Participantes</i>	128
5.1.3 <i>Procedimiento</i>	129
5.1.4 <i>Análisis de datos</i>	134
5.1.5 <i>Análisis estadístico</i>	135
<b>5.2 Resultados</b>	<b>136</b>
5.2.1 <i>Resultados intra-grupo tras el entrenamiento</i>	136
5.2.2 <i>Resultados inter-grupo tras el entrenamiento</i>	143
<b>5.3 Discusión</b>	<b>146</b>
5.3.1 <i>El efecto del entrenamiento combinado sobre el salto vertical</i>	147
5.3.2 <i>El efecto del entrenamiento pliométrico sobre el salto vertical</i>	149
5.3.3 <i>Entrenamiento combinado vs entrenamiento pliométrico para el salto vertical</i>	151
<b>5.4 Conclusión</b>	<b>152</b>
<b>6. CONCLUSIONES DE LA TESIS DOCTORAL</b>	<b>157</b>
<b>7. REFERENCIAS</b>	<b>163</b>
<b>8. ANEXOS</b>	<b>195</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figuras</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 1</b>	“Vertec”	28
<b>Figura 2</b>	Salto sin contramovimiento	40
<b>Figura 3</b>	Salto con contramovimiento	40
<b>Figura 4</b>	Salto Abalakov	41
<b>Figura 5</b>	Drop Jump	41
<b>Figura 6</b>	Estiramiento de glúteos y cuádriceps	83
<b>Figura 7</b>	Estiramiento de gastrocnemios	83
<b>Figura 8</b>	Estiramiento de cuádriceps	84
<b>Figura 9</b>	Estiramiento de glúteos	84
<b>Figura 10</b>	Fases del movimiento en el SJ	89
<b>Figura 11</b>	Fases del movimiento en el CMJ	89
<b>Figura 12</b>	Variables de desplazamiento del centro de masas	91
<b>Figura 13</b>	Variables de fuerza durante el SJ	92
<b>Figura 14</b>	Variables de fuerza durante el CMJ	92
<b>Figura 15</b>	Diagrama de dispersión de la relación entre la diferencia real y la esperada entre el SJ y el CMJ en la altura de vuelo (Hvuelo)	97
<b>Figura 16</b>	Profundidad del contramovimiento	108
<b>Figura 17</b>	Variables de fuerza durante los CMJ	111
<b>Figura 18</b>	Variables de velocidad durante los CMJ	112

<b>Figura 19</b>	Plano frontal del CMJ	130
<b>Figura 20</b>	Plano lateral del CMJ	130
<b>Figura 21</b>	Sentadilla profunda	131
<b>Figura 22</b>	Comparación entre grupos PW-P (PW: Grupo de entrenamiento combinado, P: Grupo de entrenamiento pliométrico) para las variables biomecánicas analizadas	144
<b>Figura 23</b>	Comparación entre grupos PW-Control (PW: Grupo de entrenamiento combinado) para las variables biomecánicas analizadas	145
<b>Figura 24</b>	Comparación entre grupos P-Control (P: Grupo de entrenamiento plimétrico) para las variables biomecánicas analizadas	146

## ÍNDICE DE TABLAS

Figuras	Título	Página
<b>Tabla 1</b>	Resultados (media $\pm$ SD) de las variables de desplazamiento.	94
<b>Tabla 2</b>	Resultados (media $\pm$ SD) de las variables de fuerza.	95
<b>Tabla 3</b>	Regresión múltiple para predecir la influencia de las variables de desplazamiento y aplicación de fuerza sobre los cambios en la altura de vuelo entre el SJ y el CMJ.	96
<b>Tabla 4</b>	Resultados (media $\pm$ SD) de la altura y de las variables de desplazamiento del centro de masas.	115
<b>Tabla 5</b>	Resultados (media $\pm$ SD) de las variables de fuerza.	116
<b>Tabla 6</b>	Resultados (media $\pm$ SD) de las variables de velocidad del centro de masas.	117
<b>Tabla 7</b>	Características iniciales de los grupos (Media $\pm$ SD).	129
<b>Tabla 8</b>	Programa de entrenamiento.	133
<b>Tabla 9</b>	Resultados del entrenamiento combinado sobre la altura saltada y potencia durante el CMJ (Media $\pm$ SD).	137
<b>Tabla 10</b>	Resultados del entrenamiento combinado sobre las variables de fuerza aplicada durante el CMJ (Media $\pm$ SD).	137
<b>Tabla 11</b>	Resultados del entrenamiento combinado sobre la velocidad, desplazamiento y el tiempo durante el CMJ (Media $\pm$ SD).	138
<b>Tabla 12</b>	Resultados del entrenamiento pliométrico sobre la altura saltada y potencia durante el CMJ (Media $\pm$ SD).	139

<b>Tabla 13</b>	Resultados del entrenamiento pliométrico sobre las variables de fuerza aplicada durante el CMJ.	140
<b>Tabla 14</b>	Resultados del entrenamiento pliométrico sobre la velocidad, desplazamiento y el tiempo durante el CMJ (Media $\pm$ SD).	140
<b>Tabla 15</b>	Resultados del grupo control en la altura saltada y potencia durante el CMJ (Media $\pm$ SD).	141
<b>Tabla 16</b>	Resultados del grupo control en las variables de fuerza aplicada durante el CMJ (Media $\pm$ SD).	142
<b>Tabla 17</b>	Resultados del grupo control en la velocidad, desplazamiento y el tiempo durante el CMJ (Media $\pm$ SD).	142

ESTADO DE LA  
CUESTIÓN





## 1. ESTADO DE LA CUESTIÓN

### 1.1 EL SALTO VERTICAL EN LA ACTUALIDAD

El salto vertical ha sido y continúa siendo, objeto de interés general tanto en la práctica como en la investigación en las ciencias del deporte. Es medido y analizado con distintos fines y en diferentes tipos de población. Se ha utilizado para determinar el riesgo de lesión en distintos cuerpos profesionales (policías, militares...) (Moreno-Pérez et al., 2017; Orr, Pope, Peterson, Hinton, & Stierli, 2016; Owens et al., 2013), para caracterizar el rendimiento en perfiles profesionales (Allison et al., 2015; Laffaye, Wagner, & Tombleson, 2014), para valorar la funcionalidad en poblaciones clínicas (Riddiford-Harland, Steele, & Baur, 2006; South et al., 2016), así como para discernir entre poblaciones de distintas edades o diferente nivel de habilidad motriz (Argaud, de Fontenay, Blache, & Monteil, 2016; Floria, Gómez-Landero, & Harrison, 2014; Floría & Harrison, 2014; Palmer, Followay, & Thompson, 2017). No obstante, a pesar de su utilización en ámbitos no relacionados específicamente con el rendimiento deportivo, es en éste donde cuenta con un mayor interés por parte de los investigadores, entrenadores y practicantes. El salto vertical es una de las habilidades que se utilizan a la hora de valorar las diferencias entre jugadores de élite y de niveles inferiores (Moss, McWhannell, Michalsik, & Twist, 2015; Torres-Unda et al., 2013). También es utilizado para evaluar el efecto de diferentes

metodologías y cargas de entrenamiento sobre la capacidad de aplicar fuerza a través de las extremidades inferiores (Barjaste & Mirzaei, 2017; Kobal, Loturco, et al., 2017). Debido a su popularidad, existen multitud de investigaciones que tienen como objeto de estudio el salto vertical, situándolo como una de las habilidades fundamentales a evaluar en el rendimiento deportivo, desde las pruebas atléticas, en las que el éxito de la competición es determinado por la propia altura del salto, hasta los deportes colectivos, donde se ha observado que existe un elevado número de acciones que implican salto (Drinkwater, Pyne, & McKenna, 2008; Krüger, Pilat, Ückert, Frech, & Mooren, 2014; Sheppard et al., 2008; Stølen, Chamari, Castagna, & Wisløff, 2005; Ziv & Lidor, 2009).

A pesar de los importantes avances conseguidos en los últimos años, en cuanto al conocimiento de la biomecánica subyacente al salto vertical, hay aspectos que a día de hoy, siguen generando controversia entre los estudios publicados. Conocer los factores que determinan las diferencias existentes entre algunos de los tipos de salto más utilizados, así como, conocer si es posible aumentar su rendimiento modificando su ejecución, o saber el efecto que tienen algunos de los entrenamientos más utilizados sobre las variables biomecánicas del salto, son algunos de los aspectos en los que aún se necesita continuar ampliando el conocimiento (Sperlich, Behringer, & Mester, 2016; Stojanović,

Ristić, McMaster, & Milanović, 2017; Van Hooren & Zolotarjova, 2017).

## 1.2 METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN DEL SALTO VERTICAL

Existen diferentes metodologías a la hora de medir el salto vertical. En función de la medición realizada, es posible calcular la altura del salto y sus variables biomecánicas. Existen diferentes metodologías las cuales puede ser agrupadas en (García-López, Peleteiro, Rodríguez-Marroyo, Morante, & Villa, 2003):

- ✓ Aquellas que miden la distancia existente entre dos puntos.
- ✓ Aquellas que miden el tiempo de vuelo.
- ✓ Aquellas que miden la aceleración.
- ✓ Aquellas que miden la velocidad.
- ✓ Aquellas que miden la fuerza aplicada a lo largo del gesto.

### 1.2.1 LA MEDICIÓN DEL SALTO A TRAVÉS DE LA DISTANCIA ENTRE DOS PUNTOS

La medición del salto a través de la distancia existente entre dos puntos, consiste en marcar la altura de un punto anatómico del cuerpo en la posición inicial, para posteriormente, marcar la altura de ese mismo punto anatómico cuando el participante se encuentra en el punto más alto del salto. Es frecuente la utilización de los dedos de la mano, marcando la posición inicial con su

hombro completamente flexionado y ambos pies en el suelo, para posteriormente marcar con los mismos dedos de la mano el punto más elevado durante el salto. Para llevar a cabo esta metodología, habitualmente se utiliza el sistema “Vertec” (Burkett, Phillips, & Ziuraitis, 2005; Channell & Barfield, 2008; Vint & Hinrichs, 1996). Este aparato consiste en un poste vertical que en su parte superior tiene acopladas una serie de varillas horizontales que se mueven al ser golpeadas, de tal forma que se puede conocer la altura saltada (Figura 1). Algunos estudios han tratado de valorar la fiabilidad de la “Vertec” para determinar la altura saltada y no ha mostrado ser un método muy fiable (Leard et al., 2007; Nuzzo, Anning, & Scharfenberg, 2011). Esta metodología, tiene la problemática de que el participante puede variar la posición del punto anatómico seleccionado al inicio del movimiento mediante la elevación o depresión de las escápulas aumentando así la distancia entre el punto inicial y final. Además, en el caso de utilizar los dedos de la mano para determinar el punto final, exige que el participante sea capaz de marcar en el dispositivo el punto más alto del salto.



**Figura 1.** “Vertec” Imagen extraída de:

<https://accesshealth.com.au/vertec-jump-test> el 10/12/2017

### 1.2.2 LA MEDICIÓN DEL SALTO A TRAVÉS DE TIEMPO DE VUELO

Los métodos relacionados con la medición del tiempo de vuelo, utilizan dispositivos que son capaces de detectar cuándo los pies están en contacto con el suelo o la superficie del propio dispositivo y cuándo están en el aire (plataformas de contacto, sensores de infrarrojos, vídeo,...) (Battaglia, Paoli, Bellafiore, Bianco, & Palma, 2014; Khelifa et al., 2010; Leard et al., 2007). De esta forma, se puede conocer el tiempo que el participante está en el aire. A través de este tiempo, es posible conocer la velocidad de despegue a través de las ecuaciones de cinemática de la caída libre (Linthorne, 2001):

$$\text{Velocidad de despegue} = \frac{\text{gravedad} \cdot \text{tiempo de vuelo}}{2}$$

Una vez conocida la velocidad de despegue, es posible calcular la altura de vuelo que ha sido alcanzada con la siguiente ecuación:

$$\text{Altura de vuelo} = \frac{\text{velocidad de despegue}^2}{2 \cdot \text{gravedad}}$$

Este tipo de metodología ha sido utilizada, con distintos dispositivos, en un gran número de investigaciones (Battaglia et al., 2014; Khelifa et al., 2010; Leard et al., 2007). Su fiabilidad y validez ha sido comprobada en múltiples ocasiones por lo que se considera un método fiable y válido para conocer la altura de vuelo

(Leard et al., 2007; Nuzzo et al., 2011). Aun así, un aspecto determinante a la hora de realizar mediciones con este tipo de dispositivos, es la ejecución del participante. Para que la estimación de la altura del salto sea correcta, la posición corporal en el despegue ha de ser la misma que en la caída, ya que de lo contrario, esta modificación alteraría el tiempo de vuelo. Esta limitación ha sido presentada en investigaciones previas, que pusieron de manifiesto, que los ángulos articulares de las extremidades inferiores, son distintos en el despegue en comparación con el aterrizaje (García-López et al., 2003; Kibele, 1998). En la actualidad, se están utilizando Smartphones para medir la altura de vuelo durante un salto vertical, realizándose validaciones al respecto con algunos dispositivos comerciales (Balsalobre-Fernández, Glaister, & Lockey, 2015; Gallardo-Fuentes et al., 2016). El procedimiento es similar, debido a que el cálculo de la altura de vuelo es llevado a cabo a través del tiempo que el participante está en vuelo. En este caso, el tiempo es determinado contando los fotogramas capturados por la cámara de vídeo integrada en el Smartphone. Conociendo la frecuencia de filmación, es decir, el tiempo que transcurre entre cada fotograma, y el número de fotogramas en los que el participante está en el aire, se calcula el tiempo de vuelo del salto. No obstante, este tipo de dispositivos tienen la misma limitación que las plataformas de contacto o sensores con infrarrojos en cuanto a la posición inicial y final del salto. Otra de las limitaciones de estos dispositivos se encuentra a la hora de calcular otras variables diferentes al tiempo



y altura de vuelo. Variables determinantes para el rendimiento del salto vertical como pueden ser la fuerza aplicada o la distancia sobre la que ésta se aplica, no pueden ser medidas. Aunque recientemente se ha propuesto una metodología que permite estimar los valores de fuerza media, la velocidad media y la potencia media obtenidos durante el salto vertical a partir del tiempo de vuelo (Jiménez-Reyes et al., 2017; Samozino, Morin, Hintzy, & Belli, 2008). No obstante, otras variables de fuerza, así como variables de velocidad durante la fase de contramovimiento, no han sido calculadas con esta metodología. Sin embargo, las variables del contramovimiento han mostrado ser determinantes a la hora de analizar el salto vertical (Meylan, Nosaka, Green, & Cronin, 2010).

### 1.2.3 LA MEDICIÓN DEL SALTO A TRAVÉS DE LA ACELERACIÓN

La aceleración, es otro de los métodos que se ha utilizado para evaluar el salto vertical. Los acelerómetros son capaces de registrar la aceleración en los tres ejes del espacio de forma simultánea. A partir de la aceleración se calculan variables de fuerza, velocidad o desplazamiento. Multitud de estudios han evaluado la fiabilidad y validez de distintos acelerómetros comerciales a la hora de conocer la altura saltada y algunas de las variables que determinan el salto vertical (McMaster, Gill, Cronin, & McGuigan, 2014). Uno de los aspectos críticos en el uso es el lugar donde se coloca el dispositivo. Los investigadores han situado

los acelerómetros principalmente en dos posiciones: a la altura de quinta vértebra lumbar (L5) (Bampouras, Relph, Orme, & Esformes, 2013; Choukou, Laffaye, & Taiar, 2014; McMaster et al., 2014) o en una barra situada a la altura de la séptima vértebra cervical a la hora de realizar el salto (Bampouras, Relph, Orme, & Esformes, 2010; Bampouras et al., 2013; McMaster et al., 2014; McMaster, Gill, Cronin, & McGuigan, 2013). Los resultados obtenidos en cuanto a la fiabilidad de los acelerómetros cuando eran situados en L5, como cuando eran colocados en la barra, mostraron una fiabilidad elevada para variables como altura del salto, fuerza máxima, potencia máxima y velocidad máxima (Bampouras et al., 2010; Bampouras et al., 2013; Choukou et al., 2014; McMaster et al., 2013). Sin embargo, los valores que se obtenían en esas variables eran distintos en función de la localización del dispositivo (Bampouras et al., 2010; Bampouras et al., 2013; Choukou et al., 2014; McMaster et al., 2014; McMaster et al., 2013). Cuando el acelerómetro se situaba en la barra, los valores de fuerza máxima eran superiores a los obtenidos cuando el aparato era situado en L5 (McMaster et al., 2013). Lo contrario ocurría con la potencia máxima y la velocidad máxima, ya que los valores calculados a través del acelerómetro situado en la barra, eran superiores a los del aparato colocado en L5 (McMaster et al., 2013). Para conocer la validez de los acelerómetros se ha utilizado, como *“gold standard”*, la plataforma de fuerza en varias investigaciones (Bampouras et al., 2010; Bampouras et al., 2013; Choukou et al., 2014; McMaster et al., 2013). Los resultados mostraron diferencias

significativas en función del lugar donde era colocado el dispositivo (McMaster et al., 2014). Cuando el dispositivo era colocado en la barra, los valores de fuerza máxima, en comparación con la plataforma, eran sobreestimados (Bampouras et al., 2010; Bampouras et al., 2013; McMaster et al., 2013). Sin embargo, cuando los acelerómetros eran fijados a L5, la fuerza máxima durante la fase de propulsión del salto, mostraba valores similares a los de la plataforma de fuerza (Choukou et al., 2014; McMaster et al., 2013). En cuanto a los valores máximos de velocidad y potencia, cuando los acelerómetros eran situados en la barra, estos valores resultaron ser válidos en comparación con los obtenidos por la plataforma de fuerza (Bampouras et al., 2013; McMaster et al., 2013). Contrariamente, al situar el dispositivo en L5, los valores máximos de potencia y de velocidad eran significativamente inferiores en comparación con los calculados a través de la plataforma de fuerza (Choukou et al., 2014; McMaster et al., 2013). Una posible explicación, para las diferencias encontradas en las variables en función de la localización del dispositivo, es que el acelerómetro mide los cambios relativos en cuanto a su propia aceleración, mientras que la plataforma de fuerza lo hace respecto al centro de masas del participante (McMaster et al., 2013). Esta disparidad en las variables que son determinantes para el salto vertical, provoca que tengamos que diferenciar los resultados cuando son medidos con acelerómetros, en función de la posición en la que son situados (McMaster et al.,

2014). La acción del tronco podría ser la causante de estas diferencias, siendo el control de su rotación, a través de un giróscopo, una alternativa para corregir esta problemática (Picerno, Camomilla, & Capranica, 2011). Otro limitante de los acelerómetros, lo encontramos a la hora de medir variables del contramovimiento del salto. Esto es debido a que los valores calculados de velocidad o potencia, durante la fase de contramovimiento, fueron significativamente distintos a los alcanzados por la plataforma de fuerza (McMaster et al., 2014). Consecuentemente, la necesidad de colocar el acelerómetro sobre el participante (cuando es colocado en L5), puede ralentizar la toma de datos de muchos participantes en una misma sesión, así como la baja validez en la medición de variables que describen la fase de contramovimiento, provocan que los acelerómetros no sean utilizados a menudo por entrenadores e investigadores. Así, es necesario buscar medios que nos permitan medir de forma válida un gran número de deportistas. Por último, a la hora de fijar el acelerómetro a L5, podríamos cometer pequeños errores en cuando a su localización, dando lugar a errores en la medida que obtendríamos, lo que podría ser fuente de pequeñas diferencias.

---

#### 1.2.4 LA MEDICIÓN DEL SALTO A TRAVÉS DE LA VELOCIDAD

El salto, también se ha evaluado a través de transductores lineales en varias investigaciones (Crewther et al., 2011; Giroux, Rabita, Chollet, & Guilhem, 2015; Hansen, Cronin, & Newton, 2011; Hori et al., 2007; Marques, Gil, Ramos, Costa, & Marinho, 2011;

Marques & Izquierdo, 2014; Marques et al., 2015; Tran et al., 2011). Estos transductores han mostrado ser fiables para medir la altura del salto sin contramovimiento (SJ) (Crewther et al., 2011; Giroux et al., 2015; Hansen et al., 2011; McMaster et al., 2014) y la altura en el salto con contramovimiento (CMJ) (Marques et al., 2011; Marques & Izquierdo, 2014; Tran et al., 2011). Además, variables como la fuerza máxima, la potencia máxima y la producción de fuerza en la unidad de tiempo, durante el CMJ, han mostrado un alto grado de fiabilidad (Marques et al., 2011; Marques & Izquierdo, 2014; Tran et al., 2011). A pesar de que el dispositivo es fiable, Hori et al. (2007), observaron que los valores de correlación intra-clase y del coeficiente de variación, fueron inferiores y superiores respectivamente, cuando se compararon con los de una plataforma de fuerza. Por otro lado, se debe tener en cuenta, que la mayoría de los estudios que han utilizado transductores lineales, han evaluado variables de la fase propulsiva del movimiento, por lo que variables determinantes del contramovimiento del salto, no han sido evaluadas a través de estos dispositivos (Marques et al., 2011; Marques & Izquierdo, 2014; Marques et al., 2015; Tran et al., 2011). Nuevas investigaciones podrían evaluar la fiabilidad y validez de los transductores lineales para la medición del salto vertical con contramovimiento y de las variables que lo determinan. Además, en la mayoría de las investigaciones, el transductor lineal es fijado a una barra que suele estar en un pórtico (Marques et al., 2011;

Marques & Izquierdo, 2014; Marques et al., 2015; Tran et al., 2011). El hecho de que esta barra vaya guiada por un carril, podría limitar las posibilidades de movimiento del ejecutante en el plano transversal y sagital, no permitiendo una ejecución libre del salto. Por último, realizar este tipo de mediciones en el interior de un pórtico, hace que sea una metodología más compleja que otros dispositivos portátiles para llevarlo al campo.

#### 1.2.5 LA MEDICIÓN DEL SALTO A TRAVÉS DE LA FUERZA APLICADA

Una metodología utilizada con mucha frecuencia cuando se pretende analizar un salto consiste en medir valores de fuerza durante la ejecución del gesto. Estos valores pueden ser obtenidos a través de plataformas de fuerza, capaces de registrar las fuerzas de reacción del suelo en cada instante de tiempo. Este tipo de dispositivos salvan algunas de las limitaciones expuestas anteriormente. En comparación con las metodologías que miden la distancia recorrida entre dos puntos anatómicos y aquellas que miden el tiempo de vuelo, con las plataformas de fuerza es posible conocer variables relacionadas con la aplicación de fuerza, velocidad y desplazamiento del centro de masas de los deportistas (Cormie, McGuigan, & Newton, 2010c; Crewther et al., 2011; Hansen et al., 2011; Hori et al., 2007; McMaster et al., 2013). Debido a la posibilidad de conocer la velocidad del participante, podemos saber la que tendrá en el instante de despegue (Street, McMillan, Board, Rasmussen, & Heneghan, 2001). La posibilidad de

calcular la velocidad con la que se despegue, evita los errores asociados a las diferencias en la posición corporal durante el despegue y la caída. En comparación con los acelerómetros, con los que se pueden conocer variables de fuerza, velocidad y desplazamiento, los registros de la fase de contramovimiento del salto vertical, no han sido ampliamente estudiados y sus valores distan de los obtenidos por las plataformas de fuerza, ampliamente aceptados por los investigadores (Cormie, McGuigan, & Newton, 2010b; González-Badillo & Marques, 2010; Hori et al., 2007). Por último, en la misma línea, los transductores lineales han mostrado mayores variaciones que las plataformas de fuerza a la hora de calcular las variables de la fase de propulsión del salto (Crewther et al., 2011; Hansen et al., 2011) y, tan solo Tran et al. (2011) midieron variables de la fase de contramovimiento del salto. La metodología basada en los registro de fuerza por unidad de tiempo, es utilizada como *“gold estandar”* en multitud de estudios (Crewther et al., 2011; Hansen et al., 2011; Hori et al., 2007; McMaster et al., 2014; McMaster et al., 2013). Como hemos visto anteriormente, nuevos dispositivos de medida y metodologías que tratan de medir el salto vertical u otras variables extraídas del mismo, utilizan plataformas de fuerza como dispositivo para comparar los resultados obtenidos (Balsalobre-Fernández et al., 2015; Crewther et al., 2011; Choukou et al., 2014; Hansen et al., 2011; McMaster et al., 2013). Por todo ello, parece ser el método más aceptado y utilizado a la hora de evaluar el salto vertical. No

obstante, como cualquier método, también tiene sus limitaciones. La plataforma de fuerza solo mide el valor de fuerza que se aplica contra su superficie en cada instante de tiempo, por lo que el resto de variables (velocidad, desplazamiento, potencia) son calculadas. Pequeños errores en la medición de alguna de las variables, como la masa, podrían provocar grandes modificaciones en la altura saltada y en las variables calculadas a través de los valores de fuerza y tiempo (Street et al., 2001). Otra limitación encontrada al utilizar plataformas de fuerza es el instante en el que se establece el despegue del participante. Pequeñas modificaciones en la selección del instante de despegue, pueden provocar que los resultados de la altura del salto sean inferiores o superiores a lo que realmente han sido (Kibele, 1998; Street et al., 2001).

En resumen, las metodologías analizadas, podrían ser válidas para evaluar el salto vertical. No obstante, se debe tener en cuenta, que los resultados para alguna de las variables del salto, son distintas en función de la metodología y el dispositivo que se utilice. Por tanto, hay que tener cautela a la hora de comparar resultados de estudios que utilizan diferentes metodologías de medición (McMaster et al., 2014). Entre las analizadas, parece que la más aceptada y estudiada por los investigadores, es la adquisición de valores de fuerza en la unidad de tiempo, a través de plataformas de fuerza. De este modo, y dado que la utilización de más dispositivos de medida, traería como consecuencia



distintos valores de una misma variable para un mismo salto, podríamos considerar la utilización de la plataforma de fuerza como un dispositivo suficientemente capacitado para evaluar la habilidad del salto vertical, tanto para conocer su altura, como las variables determinantes del mismo en su fase de contramovimiento y propulsión.

### 1.3 TIPOS DE SALTO

La monitorización y evaluación del rendimiento deportivo es un componente esencial para el entrenamiento (González-Badillo, Marques, & Sánchez-Medina, 2011; Sanchez-Medina & González-Badillo, 2011). El salto vertical es una de las habilidades que se miden con mayor frecuencia, aunque son varios los tipos de salto que se utilizan. Entre los saltos más utilizados en las investigaciones se encuentran el SJ, el CMJ, el CMJ con brazos (Abalakov) y el drop jump (DJ). Estos saltos son ejecutados de forma monopodal o bipodal, siendo más frecuente el segundo tipo de ejecución (Ireton, Till, Weaving, & Jones, 2017; Perez-Gomez & Calbet, 2013; Thomas, Comfort, Dos Santos, & Jones, 2017). Aunque todos los saltos buscan alcanzar la máxima altura, existen diferencias en su ejecución. El SJ consiste en la realización de un salto con las manos en las caderas y con brazos en jarra, en el que los participantes cuando finalizan la fase de contramovimiento se mantienen estáticos con objeto de eliminar los efectos del ciclo

estiramiento-acortamiento; posteriormente, empujan el suelo para alcanzar la mayor altura posible (Figura 2).



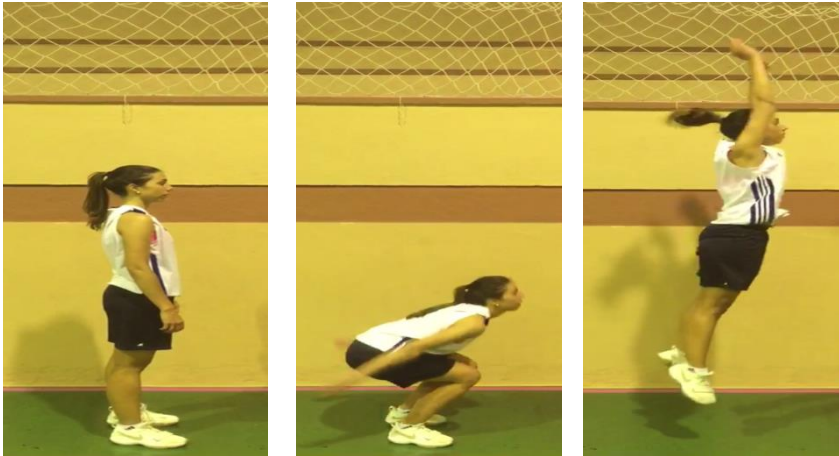
**Figura 2.** Salto sin contramovimiento.

En el CMJ los participantes mantienen la misma posición de brazos pero realizan una fase de contramovimiento previa, seguida inmediatamente de una propulsión tratando de saltar lo más alto posible (Figura 3).



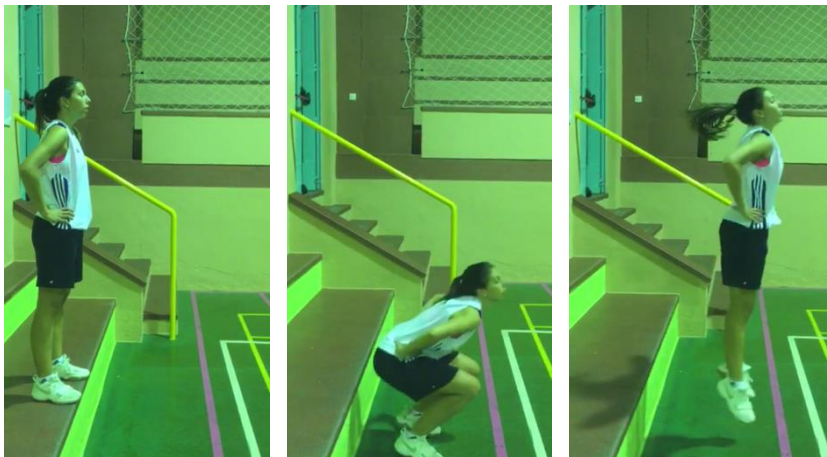
**Figura 3.** Salto con contramovimiento.

El Abalakov, mantiene la misma estructura que el CMJ pero valiéndose de la acción de los brazos para aumentar el impulso (Figura 4).



**Figura 4.** Salto Abalakov.

Por último el DJ, consiste en dejarse caer desde una altura, para posteriormente saltar tratando de alcanzar la máxima altura posible (Figura 5). También puede ser realizado con manos libres.



**Figura 5.** Drop Jump.

La utilización de estos saltos en la práctica y la investigación es frecuente y se han utilizado para evaluar el rendimiento de los atletas en multitud de deportes (Drinkwater et al., 2008; Krüger et al., 2014; Sheppard et al., 2008; Stølen et al., 2005; Ziv & Lidor, 2009). Sin embargo, algunos estudios han puesto en duda si estos tipos de saltos son representativos de lo que realmente ocurre en competición en deportes colectivos, como el fútbol o el baloncesto (Currell & Jeukendrup, 2008; Requena et al., 2014). No obstante, una investigación reciente, valoró las diferencias entre algunos saltos considerados específicos y los tradicionales, concluyendo que los tipos de saltos más fiables para estimar la fuerza explosiva, en deportistas de diferentes edades, eran el CMJ y el Abalakov (Rodríguez-Rosell, Mora-Custodio, Franco-Márquez, Yáñez-García, & González-Badillo, 2017). Se requieren más investigaciones en cuanto a la necesidad de utilizar test específicos de cada deporte, ya que la información que aportan, en comparación con la que arrojan los test tradicionales, no necesariamente tendría que ser significativamente distinta (Rodríguez-Rosell et al., 2017). Por otro lado, en una investigación se observó que cuando se pretende valorar la capacidad de aplicar fuerza a través del miembro inferior, el SJ y el CMJ son los que muestran una mayor fiabilidad (Markovic, Dizdar, Jukic, & Cardinale, 2004). En este sentido, el SJ y el CMJ son los dos saltos que más se han analizado, por lo que su rendimiento y ejecución han sido ampliamente tratados (Perez-Gomez & Calbet, 2013). A pesar de esto, el conocimiento sobre cómo la ejecución del salto influye en su rendimiento sigue siendo

de gran relevancia en la actualidad (Van Hooren & Zolotarjova, 2017).

#### 1.4 SJ VERSUS CMJ

El SJ y el CMJ son dos saltos verticales que permiten extraer información relevante para el deportista. Mientras el SJ aporta información referente a la capacidad de desarrollar fuerza durante una acción concéntrica, el CMJ aporta información en acciones que implican un ciclo estiramiento-acortamiento (McBride, Kirby, Haines, & Skinner, 2010; McGuigan et al., 2006). Generalmente, cuando se realiza un CMJ se consigue alcanzar una mayor altura que cuando se realiza un SJ (Bobbert, Gerritsen, Litjens, & Van Soest, 1996; Mackala, Stodólka, Siemienski, & Coh, 2013; Markovic et al., 2004). Se ha descrito que cuando la diferencia en la altura saltada entre estos dos saltos es mayor, se realiza una mejor utilización del ciclo estiramiento-acortamiento (McGuigan et al., 2006; Walshe, Wilson, & Murphy, 1996). Sin embargo, en ocasiones no se especifican los mecanismos responsables de las diferencias en la altura saltada entre el SJ y el CMJ. Conociendo los motivos por los que se produce esta diferencia, podríamos definir las causas que lo explican (Van Hooren & Zolotarjova, 2017).

Una mayor fuerza residual es una de las explicaciones dadas para justificar la diferencia en la altura alcanzada entre el SJ y el CMJ. La fuerza residual es el incremento de la fuerza que se produce tras un estiramiento previo de una fibra muscular, en

comparación con la fuerza que produciría esa misma fibra, sin que hubiese existido una elongación previa (Bobbert et al., 1996; Van Hooren & Zolotarjova, 2017). Varias investigaciones han evidenciado el incremento de la fuerza en fibras musculares aisladas tras su elongación (Cavagna & Citterio, 1974; Cavagna, Citterio, & Jacini, 1975; Rassier, Herzog, Wakeling, & Syme, 2003). Sin embargo, algunas investigaciones han cuestionado que los fascículos musculares se elonguen durante el contramovimiento del CMJ, y que se acortarían o mantendrían su longitud (Kopper, Csende, Sáfár, Hortobágyi, & Tihanyi, 2013; Kopper, Csende, Trzaskoma, & Tihanyi, 2014; Kurokawa, Fukunaga, Nagano, & Fukashiro, 2003). El incremento de la fuerza residual también está supeditado al tiempo que transcurre, desde que los elementos contráctiles son elongados, hasta que se inicia el acortamiento de los mismos (Van Hooren & Zolotarjova, 2017). El tiempo de retardo existente en el CMJ se ha situado en 200 ms, siendo excesivamente largo para que pudiera explicar la diferencia entre el SJ y el CMJ (Bobbert et al., 1996). Por último, en un estudio en el que se generó un modelo matemático para explicar las diferencias entre el SJ y el CMJ, existían diferencias entre ambos saltos, sin la inclusión de la fuerza residual (Bobbert & Casius, 2005). Por todos estos motivos, parece que la fuerza residual no sería la principal responsable de las diferencias encontradas en la altura entre estos dos tipos de salto.

El reflejo de estiramiento es otro mecanismo que se ha descrito como posible responsable de las diferencias entre el SJ y el CMJ (Van Hooren & Zolotarjova, 2017). El reflejo se activaría cuando las fibras del huso muscular son elongadas o debido a las vibraciones del músculo durante la fase de contramovimiento, provocando un incremento en el reclutamiento de unidades motoras (Day, Bent, Birznieks, Macefield, & Cresswell, 2017; Van Hooren & Zolotarjova, 2017). Para comprobar si el reflejo aumentaba la activación muscular, estudios previos analizaron las diferencias en la actividad electromiográfica entre el CMJ y el SJ (Bobbert et al., 1996; Gollhofer, Strojnik, Rapp, & Schweizer, 1992; Kubo et al., 2007). A pesar de que un estudio encontró una actividad electromiográfica superior en los flexores plantares durante el CMJ (Kubo et al., 2007), otros no encontraron diferencias entre los dos saltos (Bobbert et al., 1996; Gollhofer et al., 1992). Esto podría ser debido a que en cualquier tipo de salto el reclutamiento de unidades motoras es máximo durante la propulsión (Kubo et al., 2007; McBride, McCaulley, & Cormie, 2008). Estos resultados fueron apoyados por un estudio en el que no se encontró diferencia en la altura del CMJ con respecto al SJ, con la inclusión del reflejo de estiramiento (Bobbert & Casius, 2005). Toda esta información, parece indicar que la relevancia del reflejo de estiramiento, a la hora de explicar las diferencias entre el SJ y el CMJ, es mínima o nula.

La capacidad de almacenar y utilizar la energía elástica es otra de las explicaciones que se han dado para determinar las diferencias encontradas entre el SJ y el CMJ. La energía se almacenaría en los elementos elásticos de la musculatura durante la fase de contramovimiento para, posteriormente, generar una mayor cantidad de fuerza durante la fase de propulsión, provocando el incremento en la altura saltada durante el CMJ (Ettema, Huijing, & De Haan, 1992; Komi & Bosco, 1978). Sin embargo, una gran cantidad de la energía almacenada, se disiparía en calor (Anderson & Pandy, 1993; Bobbert et al., 1996; Kopper et al., 2013). Además, el SJ también podría utilizar parte de la energía elástica que no se disipase en calor, durante los primeros instantes de su ejecución (Finni, Ikegaw, Lepola, & Komi, 2001; Roberts & Konow, 2013). Por otro lado, al incluir la energía elástica en un modelo matemático para comparar su efecto entre el SJ y el CMJ, no se incrementaba el trabajo realizado durante el segundo (Bobbert et al., 1996). Todos estos argumentos sugieren que el efecto de la energía elástica a la hora de incrementar el rendimiento del salto sería pequeño (Van Hooren & Zolotarjova, 2017).

A la hora de valorar el rendimiento del SJ y el CMJ, la acumulación de estimulación, entendida como el estado activo, es otro mecanismo analizado para tratar de explicar las diferencias entre estos dos tipos de salto. Se entiende por estado activo, al número de sitios activos libres, existentes en los filamentos de



actina, para la formación de puentes cruzados a través de las cabezas de miosina (Van Hooren & Zolotarjova, 2017). Se ha sugerido, que cuando se realiza el contramovimiento, se genera un estado activo superior, al que se produce cuando éste no es realizado. Este incremento en el estado activo, podría ser el responsable de parte de las diferencias encontradas entre los dos saltos (Bobbert & Casius, 2005; Bobbert et al., 1996; Van Hooren & Zolotarjova, 2017). En el CMJ se podrían generar puentes cruzados durante la fase de contramovimiento, mientras en el SJ esto no sería posible (Bobbert & Casius, 2005). El hecho de que exista un estado activo superior, podría explicar los valores superiores de fuerza alcanzados durante el inicio de la fase de propulsión del movimiento del CMJ, en comparación con el SJ (Bobbert et al., 1996). Otro factor que podría estar relacionado con el estado activo y los valores elevados de fuerza al inicio de la propulsión sería el tiempo de retardo. Se entiende por tiempo de retardo, al tiempo que tarda en transmitirse a las inserciones óseas, la tensión muscular generada por los elementos contráctiles de la musculatura (Van Hooren & Zolotarjova, 2017). El tiempo es dependiente de la velocidad a la que la fuerza se transmite por los tendones (Van Hooren & Zolotarjova, 2017). Cuanto más rígido sea el tendón y mayor sea el estiramiento que se le genere, mayor será la velocidad a la que se transmita la fuerza (Kubo, Kanehisa, Kawakami, & Fukunaga, 2000; Kubo, Kawakami, & Fukunaga, 1999). Al realizar un SJ, cuando la posición es mantenida antes del

inicio de la fase de propulsión, la fuerza de reacción del suelo que se registra es la correspondiente al propio peso corporal. Durante el CMJ, la fuerza que se consigue en el inicio de la fase de propulsión es superior, debido a que se necesita una fuerza extra para frenar la velocidad negativa generada durante la fase de contramovimiento. Un valor de fuerza superior, provocaría que la distensión del tendón fuera mayor, dando lugar a una reducción del tiempo a la hora de transmitir la fuerza al hueso (Avis, Toussaint, Huijing, & Van Ingen Schenau, 1986; Earp, Newton, Cormie, & Blazevich, 2016; Kopper et al., 2013). En definitiva, la diferencia entre la altura saltada entre el SJ y el CMJ, podría ser parcialmente explicada por el tiempo de retardo y el estado activo al inicio de la fase propulsiva (Van Hooren & Zolotarjova, 2017).

Otra explicación que se ha aportado para explicar la diferencia en la altura alcanzada entre el SJ y el CMJ, es que el primero es un salto poco frecuente y los atletas podrían no coordinar adecuadamente ese movimiento. Sin embargo, cuando se analizó la coordinación de ambos saltos en atletas entrenados, no se encontraron diferencias entre los dos tipos de salto (Bobbert et al., 1996).

Por último, la profundidad de los dos saltos ha sido otro aspecto evaluado, al observarse una tendencia a que la profundidad del contramovimiento fuese inferior en el SJ en comparación con el CMJ (Bobbert, Casius, Sijpkens, & Jaspers, 2008; Bobbert et al., 1996; Hasson, Dugan, Doyle, Humphries, &

Newton, 2004; Mitchell, Argus, Taylor, Sheppard, & Chapman, 2017; Moran & Wallace, 2007). Este hecho, les otorgaría una ventaja biomecánica al disponer de mayor distancia para poder propulsarse. Para evitar esta ventaja es aceptado entre entrenadores y científicos que ambos saltos deben iniciar la fase de propulsión con una flexión de rodilla de 90° (Hébert-Losier, Jensen, & Holmberg, 2014; Lloyd, Oliver, Hughes, & Williams, 2011; Marques & González-Badillo, 2011; McLellan, Lovell, & Gass, 2011). A pesar de ello, el ángulo de flexión de rodilla, no es el único responsable del desplazamiento del centro de masas, ya que el tronco también afecta a dicho desplazamiento (Kopper, Ureczky, & Tihanyi, 2012). En este sentido, el criterio de 90° de flexión de rodilla, podría ser insuficiente para garantizar un mismo recorrido del centro de masas durante la fase de propulsión. A pesar de ello, algunas investigaciones mostraron, que aun modificando la profundidad del centro de masas en el SJ, la altura conseguida por CMJ era superior (Van Hooren & Zolotarjova, 2017). Quizás por ese motivo, la mayoría de las investigaciones previas se han centrado en variables relacionadas con la aplicación de fuerza para explicar el rendimiento del salto vertical más que en variables relacionadas con el rango de movimiento (Cormie, McBride, & McCaulley, 2009; Feltner, Bishop, & Perez, 2004; González-Badillo & Marques, 2010; Kirby, McBride, Haines, & Dayne, 2011; Nuzzo et al., 2011).

Algunas investigaciones han mostrado que el pico de fuerza alcanzado durante el salto vertical tiene influencia en la altura de

salto conseguida (Cormie et al., 2009; González-Badillo & Marques, 2010). Del mismo modo, una mayor fuerza media es desarrollada cuando la altura del salto es mayor (Feltner et al., 2004). La fuerza en el instante en que comienza la fase propulsiva del movimiento también ha sido evaluada, mostrando una relación positiva con la altura del salto vertical (Bobbert & Casius, 2005; Bobbert et al., 1996; Van Hooren & Zolotarjova, 2017). En otras investigaciones, el desplazamiento del centro de masas mostró tener un papel relevante a la hora de evaluar el rendimiento del salto vertical (Kirby et al., 2011; McBride et al., 2010; Salles, Baltzopoulos, & Rittweger, 2011). Por lo tanto, es asumido que las diferencias en la altura saltada entre el SJ y el CMJ pueden estar influenciadas tanto por variables relacionadas con la aplicación de fuerza como por variables relacionadas con el rango de movimiento, a pesar del criterio de los 90° de flexión de rodilla. No obstante, se desconoce en qué medida cada una de esas variables explica la diferencia de altura entre ambos tipos de saltos. Nuevos estudios son necesarios para conocer si el criterio de 90° es suficiente para que el centro de masas no se vea alterado entre el SJ y el CMJ y, en el caso de que se viera alterado el rango de movimiento, cuáles serían las consecuencias de este hecho.

### 1.5 RENDIMIENTO Y PROFUNDIDAD DEL CONTRAMOVIMIENTO

El rendimiento del salto vertical es evaluado a través de la altura máxima alcanzada durante el vuelo. A la hora de comprender los motivos por los que se consigue una mayor altura,

varias investigaciones han tratado de determinar cuáles son los parámetros biomecánicos que explican la diferencia de rendimiento (Barker, Harry, & Mercer, 2017; González-Badillo & Marques, 2010). El impulso neto vertical relativo ha mostrado una relación prácticamente perfecta con la altura alcanzada en el salto vertical (Kirby et al., 2011). El impulso es la integral entre la fuerza vertical y el tiempo durante en el que aplica dicha fuerza (McBride et al., 2010). De esta definición se deriva que los deportistas para poder incrementar el impulso neto relativo tienen tres posibilidades: incrementar la fuerza que se aplica contra el suelo, incrementar el tiempo durante el cual se está aplicando fuerza o incrementar ambas.

En la práctica, incrementar el tiempo carecería de sentido, ya que realizar la fase de propulsión a una velocidad voluntariamente baja, traería como consecuencia una velocidad de despegue inferior y, por consiguiente, una altura de salto menor (Salles et al., 2011). Cuando un deportista pretende desplazar una carga o desplazar su cuerpo a la máxima velocidad posible, trata de aplicar la mayor cantidad de fuerza en la unidad de tiempo (Maffiuletti et al., 2016). Por ello, la única forma lógica de incrementar el tiempo para aplicar fuerza, sería ampliar el rango de movimiento sobre el cual se aplica fuerza. Para ello, en el salto vertical, un aumento de la profundidad del contramovimiento, aumentaría el recorrido del centro de masas durante la posterior fase de propulsión. Varias investigaciones han evaluado el efecto

que tiene modificar la profundidad del contramovimiento en la altura alcanzada en el salto vertical (Bobbert et al., 2008; Domire & Challis, 2007; Gheller et al., 2015; Jidovtseff, Quievre, Nigel, & Cronin, 2014; Kirby et al., 2011; Mandic, Jakovljevic, & Jaric, 2015; Mandic, Knezevic, Mirkov, & Jaric, 2016; McBride et al., 2010; Salles et al., 2011). En todas las investigaciones revisadas, en las que la profundidad del contramovimiento era inferior a la seleccionada de forma libre por los participantes, el rendimiento del salto se veía disminuido (Gheller et al., 2015; Jidovtseff et al., 2014; Kirby et al., 2011; McBride et al., 2010; Salles et al., 2011). Por otro lado, se encuentran discrepancias cuando el contramovimiento era superior al seleccionado por los deportistas (Bobbert et al., 2008; Domire & Challis, 2007; Gheller et al., 2015; Jidovtseff et al., 2014; Kirby et al., 2011; McBride et al., 2010; Salles et al., 2011). Estudios de simulación, en los que se generaban modelos matemáticos que reproducían saltos con diferentes profundidades, mostraron que el rendimiento se veía incrementado cuando el recorrido del centro de masas era mayor durante la fase de propulsión (Bobbert et al., 2008; Domire & Challis, 2007). En los estudios experimentales, cuando se incrementaba la profundidad del contramovimiento, no se encontraban diferencias significativas en comparación con los saltos en los que la profundidad era seleccionada libremente por el participante (Gheller et al., 2015; Jidovtseff et al., 2014; Kirby et al., 2011; Louder, Bressel, & Bressel, 2015; Mandic et al., 2015; McBride et al., 2010; Salles et al., 2011). Es necesario entender con

mayor profundidad esta discrepancia de resultados para comprender la relación existente entre profundidad de contramovimiento y rendimiento en el salto vertical para conocer si se trata de un parámetro sobre el cual tenga interés intervenir. Algunos de los motivos por los que podría existir dicha discrepancia son: que la muestra de los estudios que investigaron esta situación fue baja en muchos de los casos (Jidovtseff et al., 2014; Louder et al., 2015; Mandic et al., 2015), que el procedimiento que se utilizó para incrementar la profundidad del contramovimiento, pudo limitar las posibilidades de los participantes a la hora de realizar el salto (Gheller et al., 2015; Kirby et al., 2011; Salles et al., 2011). Esto pudo ser debido a que el movimiento del tronco fue restringido, teniendo que mantenerlo erguido durante la ejecución del salto (Gheller et al., 2015). Además, otros estudios indicaron a los participantes la profundidad del contramovimiento exacta que tenían que alcanzar en cada salto, lo que podría haber afectado a su ejecución (Kirby et al., 2011; Salles et al., 2011). Por estos motivos, se necesita seguir avanzando en posibles alternativas a la hora de incrementar el rendimiento del salto vertical modificando la profundidad del contramovimiento, tal y como ocurre con los estudios de simulación (Bobbert et al., 2008; Domire & Challis, 2007). Además, los cambios en la profundidad del contramovimiento afectan, no solo a la altura alcanzada en el salto vertical, sino también a las variables biomecánicas relacionadas con la aplicación de fuerza y la velocidad del centro de masas

(Kirby et al., 2011; Markovic, Mirkov, Nedeljkovic, & Jaric, 2014; Salles et al., 2011).

Incrementos en las fuerzas de reacción generadas por los deportistas, incrementan el impulso neto relativo, dando lugar al consecuente aumento de la altura en el salto vertical. Varias investigaciones han tratado de evaluar la relación existente entre variables de aplicación de fuerza con la altura del salto vertical (Barker et al., 2017; González-Badillo & Marques, 2010; Salles et al., 2011). El pico de fuerza durante la fase de propulsión del salto es una de las variables más estudiadas (Barker et al., 2017; González-Badillo, Jiménez-Reyes, & Ramírez-Lechuga, 2017; González-Badillo & Marques, 2010; Jidovtseff et al., 2014; Kirby et al., 2011; Mandic et al., 2015; Salles et al., 2011), aunque los resultados encontrados son contradictorios, ya que algunas investigaciones encuentran relaciones estadísticamente significativas entre el pico de fuerza y la altura de salto (González-Badillo et al., 2017; González-Badillo & Marques, 2010) y, en otras, los resultados son contrarios (Barker et al., 2017; Jidovtseff et al., 2014; Kirby et al., 2011; Mandic et al., 2015; Salles et al., 2011). Estudios previos mostraron que el pico de fuerza disminuía cuando la profundidad del contramovimiento se veía incrementada (Jidovtseff et al., 2014; Kirby et al., 2011; Salles et al., 2011). Otras variables de aplicación de fuerza, como la fuerza media durante la fase propulsiva del salto o la fuerza en el instante de inicio de dicha fase, han sido analizadas en investigaciones que evaluaban su



relación con el salto vertical (Barker et al., 2017; González-Badillo & Marques, 2010). En trabajos en los que se modificaba la profundidad del contramovimiento, estas variables no han sido suficientemente analizadas. El desarrollo en el conocimiento del efecto del desplazamiento del centro de masas sobre las variables de aplicación de fuerza, podría ayudar a una mejor comprensión de aquellos mecanismos implícitos en el salto vertical. Conocer esta información podría ser de gran utilidad para preparadores físicos y entrenadores en sus intentos por incrementar la altura del salto vertical de sus deportistas.

La velocidad a la que se desplaza el centro de masas podría ser otro factor relevante a la hora de explicar el rendimiento del salto vertical. En este sentido, la velocidad del centro de masas en el instante de despegue determina la altura saltada. Del mismo modo, la velocidad máxima durante la fase de propulsión es muy similar a la de despegue y tiene una relación muy elevada con esta última. Además de las variables de velocidad de la fase propulsiva, la velocidad máxima negativa durante la fase de contramovimiento ha sido analizada y se observó que estaba relacionada con la altura del salto (González-Badillo & Marques, 2010). La profundidad del contramovimiento podría afectar a la velocidad que alcanza el centro de masas de los participantes al tener un mayor recorrido para acelerarlo. Esta variable no ha sido analizada en los estudios previos en los que se ha modificado la profundidad del salto vertical (Bobbert et al., 2008; Domire & Challis, 2007; Gheller et al.,

2015; Jidovtseff et al., 2014; Kirby et al., 2011; Mandic et al., 2015; Mandic et al., 2016; McBride et al., 2010; Salles et al., 2011). Conocer si la velocidad del centro de masas es alterada a causa de una modificación en la profundidad del contramovimiento, aportaría nuevas explicaciones a la hora de comprender los cambios en el rendimiento del salto vertical.

## 1.6 ENTRENAMIENTO Y SALTO VERTICAL

A la hora de tratar de mejorar el rendimiento del salto vertical, son varios los métodos de entrenamiento que han sido propuestos en la bibliografía: entrenamientos pliométricos (Chaabene & Negra, 2017; Kobal, Pereira, Zanetti, Ramirez-Campillo, & Loturco, 2017), entrenamientos con pesas (en la presente tesis doctoral se refiere a aquellos ejercicios tradicionales de musculación que son realizados con pesos libres y máquinas y movimiento olímpicos) (Arazi, Khanmohammadi, Asadi, & Haff, 2017; Marriner, Cronin, Macadam, & Storey, 2017; Otto III, Coburn, Brown, & Spiering, 2012), entrenamientos con plataformas vibratorias (Annino et al., 2017; Marshall & Wyon, 2012; Shin, Lee, & Song, 2015), entrenamientos con electroestimulación (Billot, Martin, Paizis, Cometti, & Babault, 2010; Filipovic et al., 2016; Martínez-López, Benito-Martínez, Hita-Contreras, Lara-Sánchez, & Martínez-Amat, 2012) y entrenamientos isoinerciales con sobrecarga excéntrica (Gonzalo-Skok et al., 2016; Maroto-Izquierdo, García-López, & De Paz Fernandez, 2016; Naczki, Naczki, Brzenczek-Owczarzak, Arlet, & Adach, 2016). Además de estos, la

combinación de varios métodos de entrenamiento también ha sido evaluada en varias ocasiones, en cuanto al efecto que pueden tener en el salto vertical (Hackett, Davies, Soomro, & Halaki, 2016; Perez-Gomez & Calbet, 2013; Sperlich et al., 2016).

#### 1.6.1 ENTRENAMIENTO PLIOMÉTRICO Y SALTO VERTICAL

El entrenamiento pliométrico es uno de los métodos más utilizados cuando el objetivo es la mejora del salto vertical. Se entiende por pliometría a aquellas acciones que se caracterizan por la presencia de un ciclo estiramiento-acortamiento, durante el cual existe una fase de contramovimiento a la que le sigue, inmediatamente, una fase de propulsión (G. Markovic & Mikulic, 2010; Perez-Gomez & Calbet, 2013). Son muchos los ejercicios realizados y catalogados como pliométricos, entre los que destacan principalmente el CMJ, el DJ y los saltos repetidos (Perez-Gomez & Calbet, 2013). Existe una importante investigación detrás del efecto que generan distintos entrenamiento pliométricos sobre la capacidad de mejorar el rendimiento del salto vertical (De Villarreal, Requena, & Newton, 2010; Markovic, 2007; Stojanović et al., 2017). Las revisiones y meta-análisis realizados sobre este método de entrenamiento han mostrado que existía una mejora en la altura de salto tras el entrenamiento (De Villarreal et al., 2010; Markovic, 2007; Stojanović et al., 2017). Entre los distintos tipos de salto, se observó que los mayores incrementos en el rendimiento, se obtenían en aquellos saltos cuya ejecución era más

similar a los ejercicios de entrenamiento (De Villarreal et al., 2010; Markovic, 2007; Stojanović et al., 2017). En este sentido, en el DJ y en el CMJ, las mejoras acontecidas en la altura del salto vertical eran superiores frente al SJ (Stojanović et al., 2017). El hecho de que durante el SJ el participante se mantenga durante al menos 2 segundos estático en el punto más bajo, limitaría la acción del ciclo estiramiento acortamiento (Gerodimos et al., 2008; G. Markovic & Mikulic, 2010). Además, las mejoras eran superiores en el DJ frente al CMJ; esto sería debido a que la mayoría de ejercicios pliométricos incluyen una caída previa a la realización de un nuevo salto (Stojanović et al., 2017). Por otro lado, la mayoría de los artículos revisados se limitan a evaluar el rendimiento del salto vertical a través de la altura alcanzada (De Villarreal et al., 2010; Markovic, 2007; Stojanović et al., 2017). Sin embargo, en la búsqueda de una mejor comprensión del efecto que tiene el entrenamiento pliométrico sobre el salto vertical, se hace necesaria la evaluación del efecto que tiene dicho entrenamiento, en las variables biomecánicas que lo determinan. Dicha información podría ayudar a los entrenadores, preparadores físicos e investigadores, a la hora de proponer un tipo de entrenamiento u otro, en base al déficit que tengan durante la ejecución del salto vertical.

### 1.6.2 ENTRENAMIENTO CON PESAS Y SALTO VERTICAL

El entrenamiento con pesas es un método caracterizado por la movilización de resistencias como pueden ser mancuernas, barras, placas pertenecientes a poleas y máquinas, etc. Las cargas en estos entrenamientos suelen ser expresadas en base a la máxima carga que los participantes son capaces de movilizar una vez, denominada repetición máxima (1RM). Se suele realizar una división dentro de este entrenamiento en base al tipo de carga utilizada. Cuando las intensidades se sitúan entre el 80% y el 100% de la 1RM, las cargas de entrenamiento son consideradas como altas (Perez-Gomez & Calbet, 2013). Por otro lado, cuando la intensidad se encuentra entre el 30% y el 50% de la 1RM se corresponderían con cargas bajas (Perez-Gomez & Calbet, 2013). Entendemos por tanto, que entre el 50% y el 80% de la 1RM las cargas serían consideradas como medias.

El entrenamiento con pesas ha sido utilizado para mejorar el rendimiento del salto vertical, involucrando distintos ejercicios centrados en el tren inferior (Arazi et al., 2017; Marriner et al., 2017; Otto III et al., 2012). Dentro de ellos destacan, por un lado, los entrenamientos que comprenden movimientos olímpicos, como la cargada y la arrancada (Hackett et al., 2016) y, por otro lado, ejercicios tradicionales con pesas, entre los que destaca la sentadilla por ser el más utilizado (Sperlich et al., 2016). De los estudios que han evaluado el efecto de entrenamientos

tradicionales con pesas, se concluye que existe un efecto positivo para la mejora del rendimiento del salto vertical (Perez-Gomez & Calbet, 2013; Sperlich et al., 2016). Dentro de este tipo de entrenamiento, se observó, que las mayores mejoras se encontraban cuando las cargas utilizadas eran medias y bajas, siendo los participantes capaces de alcanzar velocidades elevadas durante la ejecución de los ejercicios (Perez-Gomez & Calbet, 2013). Ello podría estar justificado debido al tiempo de aplicación de fuerza que tienen los participantes durante la ejecución de un salto vertical, en el cual se hace necesario generar una importante cantidad de fuerza en el tiempo disponible que se tiene (Tillin, Pain, & Folland, 2013). Al realizarse estos movimientos a una mayor velocidad, serían más similares al salto vertical y generarían un mayor incremento en su rendimiento (Perez-Gomez & Calbet, 2013). No obstante, con cargas altas también se han observado mejoras en el rendimiento del salto vertical (Perez-Gomez & Calbet, 2013). Por otro lado, se ha comparado el efecto, sobre el salto vertical, cuando se utilizaban ejercicios tradicionales de pesas y ejercicios correspondientes a movimiento olímpicos (Arabatzi & Kellis, 2012; Channell & Barfield, 2008; Hoffman, Cooper, Wendell, & Kang, 2004). De un meta-análisis se extrae, que los entrenamientos realizados con movimientos olímpicos, conseguían un incremento del rendimiento del salto vertical, un 5,10% mayor que aquellos entrenamientos en los que se realizaban ejercicios tradicionales de fuerza (Hackett et al., 2016).

El número de trabajos de investigación que han evaluado el efecto que tiene el entrenamiento con pesas es amplio y se considera que da lugar a un efecto positivo sobre el salto vertical (Hackett et al., 2016; Perez-Gomez & Calbet, 2013; Sperlich et al., 2016). Sin embargo, existen dos lagunas dentro de la gran cantidad de trabajos llevados a cabo durante estos años. Por un lado, el número de estudios realizados con mujeres se considera insuficiente para obtener conclusiones claras en los meta-análisis realizados (Sperlich et al., 2016; Stojanović et al., 2017). Por otro lado, en la gran mayoría de los estudios realizados, la valoración del incremento en el rendimiento del salto vertical ha quedado limitada a la medición de la altura saltada (Marriner et al., 2017; Perez-Gomez & Calbet, 2013; Sperlich et al., 2016). No obstante, algunos trabajos han analizado variables biomecánicas del salto vertical, desarrollando el conocimiento sobre este tipo de entrenamientos y los motivos por los cuales consigue incrementar la altura del salto vertical (Cormie, McGuigan, & Newton, 2010a; Cormie et al., 2010b, 2010c; Kijowski et al., 2015).

Dentro de las investigaciones que han evaluado el efecto del entrenamiento en las variables biomecánicas que determinan el salto vertical encontramos trabajos que han utilizado cargas bajas, y otros, que han utilizado cargas altas, en base al criterio expuesto anteriormente (Cormie et al., 2010a, 2010b, 2010c). En los estudios que se utilizaron cargas bajas, éstas fueron inferiores al 30% 1RM. Se obtuvieron incrementos en variables de la fase de

contramovimiento del salto, observando que se producía un incremento en la potencia, la velocidad y el desplazamiento del centro de masas (Cormie et al., 2010b). Por otro lado, en la fase de propulsión se observó un incremento en la potencia, la fuerza, el impulso neto y la velocidad del centro de masas (Cormie et al., 2010a, 2010b). En conclusión, que este tipo de entrenamiento puede dar lugar a una optimización del ciclo estiramiento-acortamiento, permitiendo a los participantes incrementar la cantidad de fuerza que eran capaces de aplicar en la unidad de tiempo. Ello daba lugar, a una mayor aceleración y velocidad de su centro de masas, dando como resultado el incremento en la altura del salto vertical (Cormie et al., 2010a).

Por otro lado, se evaluó el efecto que tenían entrenamientos con pesas que incluían cargas altas, superiores al 75% de la 1RM sobre diferentes variables biomecánicas del salto. Dentro de los parámetros evaluados en la fase de contramovimiento, la potencia, la velocidad durante el contramovimiento y el desplazamiento del centro de masas, mostraron un incremento tras el entrenamiento (Cormie et al., 2010b). Del mismo modo, se incrementó el impulso neto, la fuerza y la velocidad del centro de masas durante la fase de propulsión del salto (Cormie et al., 2010a). En conclusión, con este tipo de cargas, las mejoras se asociaron al incremento en la capacidad contráctil de la musculatura, que daría lugar a que el peso corporal supusiera una carga relativa inferior para los deportistas (Cormie et



al., 2010a, 2010b; Perez-Gomez & Calbet, 2013). Los estudios revisados que evaluaron variables biomecánicas del salto, propusieron las cargas de entrenamiento en sentadilla en base a la realización de un test de 1RM (Cormie et al., 2010a, 2010b). A pesar de que a la mitad del entrenamiento se volvió a realizar el test de 1RM para recalcularla y ajustar las cargas a los porcentajes empleados, las cargas no fueron cuantificadas de manera precisa. En este sentido, se necesitan nuevos estudios en los que las cargas estén cuantificadas de manera precisa durante cada sesión y se evalúe el efecto que tiene el entrenamiento de pesas sobre las variables biomecánicas que determinan el salto. La velocidad media propulsiva de cada repetición podría ser un método adecuado a la hora de cuantificar estas cargas de entrenamiento. (Conceição, Fernandes, Lewis, González-Badillo, & Jiménéz-Reyes, 2016; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010).

### 1.6.3 ENTRENAMIENTO COMBINADO DE PESAS Y PLIOMETRÍA

El entrenamiento combinado de pesas y pliometría engloba la aplicación de los dos métodos expuestos anteriormente de manera conjunta. Existen dos alternativas, por un lado la inclusión dentro de una misma sesión de entrenamiento de ejercicios con pesas y pliometría y, por otro lado, la realización de sesiones de entrenamiento de pesas un día y la realización de ejercicios pliométricos en otro día distinto. La ejecución previa de un ejercicio con pesas dentro de una misma sesión, podría servir

como potenciación para un posterior ejercicio pliométrico (Hodgson, Docherty, & Robbins, 2005), aunque no existen evidencias suficientes para considerar que una de las dos alternativas de lugar a un mejor rendimiento en la altura del salto vertical (Perez-Gomez & Calbet, 2013).

La utilización del entrenamiento combinado de pesas y pliometría vendría justificado porque un salto vertical exige una necesidad importante de fuerza, que debe ser aplicada a una gran velocidad. El entrenamiento combinado de pesas y pliometría ha sido utilizado para mejorar el salto vertical obteniéndose una mejora de su rendimiento (Perez-Gomez & Calbet, 2013). La mayoría de trabajos revisados coinciden en que la combinación del entrenamiento de pesas y pliometría, generan mayores incrementos en la altura del salto, en comparación a cuando estos son aplicados de forma aislada (Perez-Gomez & Calbet, 2013). Al igual que ocurría con el entrenamiento pliométrico y el entrenamiento con pesas, la evaluación del rendimiento del salto vertical ha sido realizada principalmente a través de la altura alcanzada. Sólo en algunas investigaciones, se evaluaron variables biomecánicas del salto vertical (Arabatzi, Kellis, & De Villarreal, 2010; Kijowski et al., 2015). En esos trabajos se utilizaron cargas altas durante el entrenamiento con pesas, no encontrándose investigaciones de similares características con cargas bajas o medias. En ambos trabajos se obtuvo que la mejora acontecida en el salto vertical fue debida a variables de la fase de

contramovimiento (Arabatzí et al., 2010; Kijowski et al., 2015). Kijowski et al. (2015) encontraron modificaciones en la forma de las curvas durante la fase mencionada, siendo inferiores los valores al inicio de la fase de contramovimiento y superiores al final de dicha fase. Esto significaría que eran capaces de acelerar a una mayor velocidad durante la fase de contramovimiento y que conseguían frenar más rápido la velocidad del centro de masas durante el contramovimiento. Por otro lado, Arabatzí et al. (2010), encontraron una disminución del rango de movimiento de la cadera, mientras la rodilla se mantuvo constante, en aquellos participantes que realizaron el entrenamiento combinado de pesas y pliometría. Ninguno de los dos trabajos revisados evaluó la velocidad de desplazamiento del centro de masas durante el salto. Del mismo modo, ambos fueron realizados con hombres, existiendo la necesidad de evaluar el efecto sobre el sexo femenino de este tipo de entrenamiento (Sperlich et al., 2016; Stojanović et al., 2017).

---

#### 1.6.4 ENTRENAMIENTO VIBRATORIO

El entrenamiento vibratorio engloba a todas aquellas acciones que son realizadas sobre una plataforma vibratoria. Frecuentemente en este método de entrenamiento los participantes se colocan de pie sobre la plataforma, manteniendo una posición determinada mientras ésta oscila. También, dentro de este método, los deportistas realizan acciones con o sin carga

adicional a su peso corporal sobre la plataforma mientras esta vibra. Las vibraciones pueden variar su intensidad a través de modificaciones en su amplitud, frecuencia y las aceleraciones generadas por la vibración.

Varios estudios han utilizado este método de entrenamiento para valorar su efecto sobre la mejora del salto vertical. Los resultados encontrados en dos revisiones sistemáticas, observaron resultados contradictorios entre las investigaciones evaluadas (Perez-Gomez & Calbet, 2013; Sperlich et al., 2016). Se encontraron mayores mejoras en aquellos grupos que tenían un nivel de entrenamiento inferior o que estaban desentrenados (Perez-Gomez & Calbet, 2013). Entre las posibles explicaciones a la variabilidad de los resultados están las diferencias intra-sujetos existentes con este método. Estudios más recientes a las revisiones parecen observar incrementos en el rendimiento del salto vertical tras la aplicación de entrenamientos con plataforma vibratoria (Annino et al., 2017; Marshall & Wyon, 2012; Shin et al., 2015; Wang et al., 2014). Sin embargo, las justificaciones son contradictorias, ya que algunos trabajos encontraron incrementos de la señal electromiográfica (Annino et al., 2017; Wang et al., 2014) y otros, no encontraron diferencias tras el entrenamiento (Rubio-Arias, Ramos-Campo, Esteban, Martínez, & Jiménez, 2017). Por otro lado, se observó que una ejecución unilateral sobre la plataforma mejoraba en mayor medida el rendimiento de la pierna que saltaba menos, mientras que una ejecución bilateral mejoraba

en mayor medida el rendimiento en la pierna que saltaba más (Shin et al., 2015). Futuros estudios deberían tratar de esclarecer los motivos por los cuales se ve incrementado el salto vertical, en cuanto a las variables que determinan su rendimiento tras este tipo de entrenamiento. Del mismo modo, se deberían concretar aquellas intensidades que podrían ser más propicias para la mejorar el salto vertical. Para ello, sería necesario conocer el efecto que tiene cada estímulo de entrenamiento, generado a través de las plataformas vibratorias, sobre las distintas variables que determinan el salto vertical.

#### 1.6.5 ENTRENAMIENTO CON ELECTROESTIMULACIÓN

El entrenamiento con electroestimulación consiste en la aplicación externa de impulsos eléctricos que provocan la contracción de las fibras musculares. La carga de entrenamiento puede ser modificada en base a varios parámetros como son: la frecuencia de descarga (medida en hercios), la intensidad de la señal (medida en miliamperios) y su tiempo de aplicación. Este tipo de entrenamiento es frecuente en procesos de rehabilitación, pero también ha sido utilizado en deportistas de distintas modalidades (Perez-Gomez & Calbet, 2013; Sperlich et al., 2016).

El entrenamiento de electroestimulación para la mejora del salto vertical no ha sido realizado de manera aislada, debido a que a través de la electroestimulación no se mejora la coordinación entre músculos agonistas y antagonistas, sino que se ha aplicado

este método durante el propio salto vertical o ejercicios con similares características a este (Perez-Gomez & Calbet, 2013). La mejora del salto vertical vendría producida por diferentes adaptaciones entre las que encontramos la hipertrofia muscular (Bezerra, Zhou, Crowley, Brooks, & Hooper, 2009; Gondin, Guette, Ballay, & Martin, 2005; Maffiuletti, Pensini, & Martin, 2002). Un incremento de la sección transversal del músculo daría lugar a una mayor fuerza aplicada sobre las inserciones óseas responsables del movimiento. Por otro lado, también se ha observado que este tipo de entrenamiento da lugar a adaptaciones a nivel neural, que traerían como consecuencia un incremento de la activación muscular (Gondin et al., 2005).

Los estudios que han analizado el efecto del entrenamiento con electroestimulación sobre el salto vertical han mostrado resultados contradictorios entre ellos. Algunos estudios encuentran un efecto positivo, tras 4 semanas de entrenamiento (Maffiuletti et al., 2002), aunque en otros trabajos de investigación sugieren la necesidad de más semanas de entrenamiento para que la mejora sea significativa (Filipovic et al., 2016; Martínez-López et al., 2012). Por otro lado, la intensidad de la señal parece mostrar efectos distintos sobre el salto vertical (Martínez-López et al., 2012), aunque no parece que exista un consenso con la intensidad más adecuada (Billot et al., 2010; Filipovic et al., 2016; Martínez-López et al., 2012; Perez-Gomez & Calbet, 2013). Futuros estudios deberían esclarecer tanto el tiempo necesario de entrenamiento,

así como, las intensidades más adecuadas y las adaptaciones asociadas con esta exposición en relación con el rendimiento del salto.

#### 1.6.6 ENTRENAMIENTO CON SOBRECARGA EXCÉNTRICA

El entrenamiento con sobrecarga excéntrica consiste en generar una energía cinética durante la fase concéntrica del movimiento que después es devuelta durante la fase excéntrica (Nuñez Sanchez & de Villarreal, 2017). Toda la energía que es generada durante la acción concéntrica, debe ser frenada durante la fase excéntrica del movimiento, por lo que se necesita generar un impulso de frenado igual al conseguido durante la fase concéntrica (Nuñez Sanchez & de Villarreal, 2017; Vicens-Bordas, Esteve, Fort-Vanmeerhaeghe, Bandholm, & Thorborg, 2017). Esto se consigue a través de una cuerda fijada a la parte exterior de un cono o de un cilindro, que a su vez en la base tiene un disco, de tal forma que cuando está comienza a moverse es capaz de almacenar la energía generada y devolverla en la fase excéntrica. Se han utilizado principalmente dos tipos de dispositivos, por un lado las poleas cónicas, que consiste en un cono al que la cuerda se encuentra enrollada y cuando se tira de la cuerda se va soltando del cono desde la zona de mayor diámetro a la de menor diámetro durante la fase concéntrica para realizar la acción contraria durante la excéntrica (Nuñez Sanchez & de Villarreal, 2017). Otro tipo de dispositivo son los denominados YO-YO, cuyo

funcionamiento es el mismo, con la diferencia de que, en lugar de ser un cono, el dispositivo sobre el que está fijada la cuerda es un cilindro. La diferencia principal entre ambas es que para el cono, la inercia al inicio del movimiento es menor y varía durante el recorrido, mientras que para la YO-YO la inercia es superior al inicio y se mantiene durante el mismo (Nuñez Sanchez & de Villarreal, 2017). Esta metodología ha sido utilizada en varias poblaciones, desde adolescentes hasta adultos, en personas de diferente nivel de actividad física (sedentarias, activos, entrenados) (Maroto-Izquierdo et al., 2017; Nuñez Sanchez & de Villarreal, 2017; Vicens-Bordas et al., 2017). La mayoría de los estudios de investigación engloban intervenciones con una duración de entre 5-15 semanas y en los que se realizaban de media 4 series de unas 7 repeticiones (Maroto-Izquierdo et al., 2017). Se han encontrado efectos positivos en cuanto a: La ganancia de masa muscular, la máxima contracción voluntaria, la 1RM, la fuerza generada durante la fase excéntrica, la potencia muscular, la velocidad de carrera, la actividad electromiográfica y el salto vertical (Maroto-Izquierdo et al., 2017; Vicens-Bordas et al., 2017).

El entrenamiento con sobrecarga excéntrica ha sido utilizado para mejorar el rendimiento del salto vertical. Aunque no son muchas las investigaciones que han utilizado esta tecnología para el entrenamiento del salto, todos los estudios revisados encuentran incremento en la altura saltada tras el entrenamiento (De Hoyo, Pozzo, et al., 2015; De Hoyo, Sañudo, et al., 2015;



Gonzalo-Skok et al., 2016; Maroto-Izquierdo et al., 2016; Naczk et al., 2016). Las poblaciones utilizadas han sido variadas, desde deportistas de élite en fútbol (De Hoyo, Pozzo, et al., 2015) y en balonmano (Maroto-Izquierdo et al., 2016), hasta grupos de estudiantes (De Hoyo, Sañudo, et al., 2015; Naczk et al., 2016). En todos los casos los estudios fueron realizados con hombres, no encontrando ninguno realizado con mujeres; en cuanto al salto vertical se refiere. El vector hacia el que se aplica la fuerza parece ser un factor determinante a la hora de mejorar el rendimiento deportivo, siendo importante la realización de movimientos en el eje vertical cuando se pretende buscar una mejora del salto vertical (Gonzalo-Skok et al., 2016). Las mejoras conseguidas con sobrecarga excéntrica no fueron superiores a las obtenidas con un trabajo tradicional de fuerza en cuanto al salto con contramovimiento se refiere (De Hoyo, Sañudo, et al., 2015; Naczk et al., 2016). En esta línea, una última revisión sobre la temática pone en duda que las mejoras sean superiores a las conseguidas con entrenamientos de fuerza tradicional (Vicens-Bordas et al., 2017). En la metodología de este meta-análisis se usó como guía para llevarlo a cabo el “*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses* (PRISMA)” (Liberati et al., 2009). Sus criterios trajeron como consecuencia un número más reducido de artículos incorporados que las dos revisiones anteriores (Maroto-Izquierdo et al., 2017; Nuñez Sanchez & de Villarreal, 2017). Ello podría ser el motivo por el que las conclusiones obtenidas en los

trabajos sean contradictorias. No obstante, las tres revisiones coinciden en que se necesitan nuevas investigaciones, que cumplan con criterios de calidad, para poder sacar conclusiones firmes sobre la metodología (Maroto-Izquierdo et al., 2017; Nuñez Sanchez & de Villarreal, 2017; Vicens-Bordas et al., 2017). Por otro lado, en cuanto al salto se refiere, todos los estudios revisados han medido el salto vertical a través de dispositivos que medían el tiempo de vuelo en hombres (De Hoyo, Pozzo, et al., 2015; De Hoyo, Sañudo, et al., 2015; Gonzalo-Skok et al., 2016; Maroto-Izquierdo et al., 2016; Naczk et al., 2016). Futuras investigaciones, deberían de valorar el efecto sobre el salto vertical en mujeres, del mismo modo, se debería evaluar el efecto de este tipo de entrenamiento sobre variables biomecánicas del salto vertical, para determinar a qué son debidas las modificaciones que se producen en el rendimiento.

## OBJETIVOS E HIPÓTESIS



## 2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE LA TESIS DOCTORAL

En la presente tesis doctoral nos planteamos tres objetivos principales. Todos ellos giran en torno a la influencia de la profundidad del contramovimiento sobre el rendimiento del salto vertical.

Como se ha mencionado en el apartado de Estado de la cuestión, es esperado que existan diferencias en la altura del salto entre un SJ y un CMJ. Esta diferencia de rendimiento debería reflejarse en diferencias en el trabajo mecánico generado durante la ejecución del salto. Las diferencias en el trabajo mecánico podrían ser debidas a diferencias en la fuerza aplicada, a diferencias en la distancia sobre la cual la fuerza es aplicada o a diferencias en ambos parámetros entre los dos tipos de saltos. Las diferencias en la fuerza aplicada, podrían ser debidas al efecto del ciclo estiramiento-acortamiento. Por otro lado, a pesar del intento por estandarizar el punto de inicio de la fase de propulsión entre el SJ y el CMJ, a través del criterio de 90° de flexión de rodilla, podrían existir diferencias en la distancia sobre la cual se aplica la fuerza. Este hecho, como ha sido expresado en el apartado de Estado de la cuestión, podría ser debido a la influencia que tienen otros segmentos corporales, como el tronco, en el desplazamiento del centro de masas. Conocer la magnitud de esas diferencias, así como la influencia de cada una de ellas sobre la diferencia de altura entre los dos tipos de saltos, ayudaría a comprender con

mayor profundidad la biomecánica subyacente al salto vertical. Consecuentemente, **el primer objetivo de la presente tesis doctoral fue determinar la influencia de las variables relacionadas con la aplicación de fuerza y la profundidad del centro de masas en las diferencias en la altura saltada entre el SJ y el CMJ.** La hipótesis propuesta fue que las pequeñas diferencias en la magnitud de la profundidad del centro de masas, explicarían en mayor medida las diferencias en la altura de salto entre el SJ y el CMJ que las diferencias en la magnitud de las fuerzas aplicadas.

Como se ha expuesto en el apartado de Estado de la cuestión, la profundidad del contramovimiento influye en el rendimiento del CMJ. Estudios experimentales demuestran que cuando se compara una profundidad de contramovimiento autoseleccionada, con una reducción en la profundidad, disminuye la altura saltada. Sin embargo, existen discrepancias en la influencia sobre el rendimiento del salto cuando se aumenta la profundidad del contramovimiento, en comparación con la seleccionada por los participantes, entre estudios experimentales y teóricos. Mientras los primeros no encuentran diferencias en la altura saltada entre un salto con contramovimiento autoseleccionado y otro incrementado respecto a este, estudios teóricos proponen que un aumento de la profundidad del contramovimiento debería ir asociado a un aumento de la altura saltada. Esta discrepancia de resultados podría deberse a la complejidad de la tarea propuesta para aumentar magnitud del

contramovimiento. Tareas restringidas a alcanzar una profundidad determinada, o la limitación del movimiento de segmentos importantes como el tronco, podrían ser las causantes de no encontrar ventaja al disponer de una mayor distancia para aplicar fuerza sobre el centro de masas. Así, conocer cómo una instrucción sencilla, dirigida a modificar la profundidad del contramovimiento (baja un poco más, o baja un poco menos) influye en el rendimiento de salto vertical, ayudaría a entender como una modificación en la ejecución, incrementaría el rendimiento del salto vertical con un mismo nivel de condición física. Esto podría ser relevante dado que la altura del salto vertical es utilizada por deportistas y entrenadores como medida de la condición física. Consecuentemente, **el segundo objetivo de la presente tesis doctoral fue determinar cómo modificaciones en la profundidad del contramovimiento del salto vertical podrían dar lugar, tanto a cambios en el rendimiento del salto vertical, como a cambios en parámetros relacionados con la fuerza aplicada y velocidad generada.** La hipótesis propuesta fue que pequeños incrementos en la profundidad del contramovimiento, irían asociados a mejoras en el rendimiento del salto vertical, mientras que reducciones en el contramovimiento, se relacionarían con disminuciones en el rendimiento.

Como se ha detallado en el apartado de Estado de la cuestión existen multitud de propuestas de entrenamiento para mejorar la altura del salto vertical. No obstante, poco es conocido

sobre qué cambios biomecánicos van asociados a esa mejora del rendimiento. Es esperado que distintos tipos de entrenamientos provoquen diferentes cambios biomecánicos, aunque la mejora en la altura saltada sea similar. Actualmente, se desconoce si los cambios se concentran en mayor medida en parámetros biomecánicos que describen la magnitud de la fuerza aplicada o en parámetros referentes a la distancia sobre la que esta se aplica. Conocer cómo se modifica la biomecánica del salto vertical tras dos tipos de entrenamiento (pliométrico y combinado de pesas y pliometría), muy utilizados por deportistas y entrenadores, ayudaría a entender con mayor profundidad los efectos de cada tipo de entrenamiento sobre los deportistas. Consecuentemente, **el tercer objetivo de la presente tesis doctoral fue evaluar el efecto del entrenamiento pliométrico y el entrenamiento combinado de pesas y pliometría en las variables de fuerza, potencia, velocidad, tiempo y desplazamiento que determinan el rendimiento en el salto vertical.** La hipótesis propuesta fue que los entrenamientos provocarían cambios tanto en parámetros relacionados con la fuerza, como en aquellos relacionados con el rango de movimiento, aunque estos serían distintos en función del tipo de entrenamiento empleado.



# ESTUDIO 1



### 3. ESTUDIO 1: SJ VS CMJ

#### 3.1 MÉTODO

##### 3.1.1 PARTICIPANTES

Veintiséis jugadores de deportes colectivos a nivel recreacional participaron en esta investigación (edad:  $21 \pm 3,46$  años, altura:  $1,79 \pm 0,06$  m y peso:  $75 \pm 6,14$  kg). Al menos en los 6 meses previos a la investigación, ninguno de los participantes presentaba lesión musculo-esquelética. La presente investigación fue realizada de acuerdo a la declaración de Helsinki y todos los participantes firmaron el consentimiento informado antes de la participación en el estudio. Todos los datos recogidos durante el presente estudio fueron anonimizados y guardados en bases de datos seguras y siguiendo la ley de protección de datos.

##### 3.1.2 PROCEDIMIENTO

Los participantes realizaron SJ y CMJ sobre una plataforma de fuerzas (Quattro Jump, Kistler Instrument AG, Winterthur, Switzerland), registrando a una frecuencia de 500 Hz. Antes de cada test, los participantes realizaron 10 minutos de calentamiento, el cual incluía 2 minutos de carrera continua, ejercicios dinámicos de estiramiento, ejercicios de activación y una serie de 6 saltos submáximos (Vetter, 2007). Los ejercicios dinámicos fueron dirigidos a la musculatura implicada en el salto,

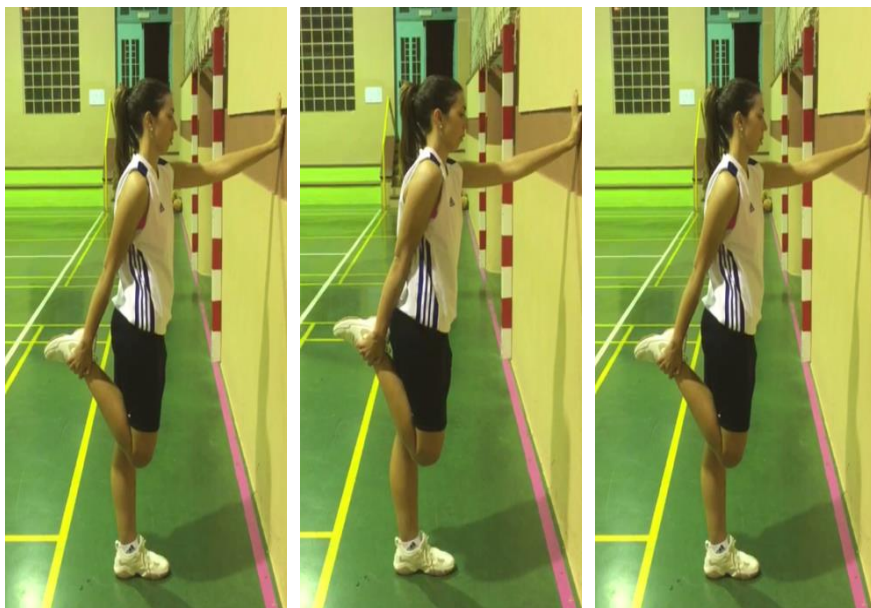
realizando un total de 8 repeticiones de cada uno de ellos. Los estiramientos dinámicos ejecutados fueron, en función de la musculatura principal implicada, los siguientes: glúteos y cuádriceps (demi-plies) (Figura 6), gastrocnemios (posición inicial con el metatarso apoyado y el talón elevado, posición final con el talón apoyado en el suelo) (Figura 7), cuádriceps (apoyo mono-podal, flexión de rodilla asistida por la mano hasta que el talón contactará con el glúteo) (Figura 8) y glúteo (apoyo mono-podal apoyando la espalda en una superficie plana, flexión de cadera asistida por las manos hasta llegar al máxima rango de movimiento) (Figura 9). Cada una de las repeticiones de estos estiramientos se realizaron durante 3 segundos entre la posición inicial y la posición de estiramiento que se ha descrito anteriormente. Los ejercicios de activación fueron los siguientes: 10 elevaciones de tobillos, 20 apoyos (10 con cada pierna) de skipping hacia delante, 20 apoyos (10 con cada pierna) de skipping hacia detrás. Tras la realización de los 3 ejercicios descritos, se volvían a repetir siguiendo el mismo orden. Por último, se realizaron 6 saltos submáximos: 3 SJ y 3 CMJ. No se realizó una sesión previa de familiarización debido a que todos los participantes eran físicamente activos y en sus entrenamientos realizaban actividades que incluían tanto SJ como CMJ. Por este motivo, los 6 saltos del calentamiento, realizados sobre la plataforma de fuerzas, fueron suficientes para asegurar la correcta ejecución durante el test.



**Figura 6.** Estiramiento de glúteos y cuádriceps.



**Figura 7.** Estiramiento de gastrocnemios.



**Figura 8.** Estiramiento de cuádriceps.



**Figura 9.** Estiramiento de glúteos.

Tras el calentamiento, los participantes realizaron 3 SJ y 3 CMJ de forma aleatoria. Las instrucciones a los participantes fueron estandarizadas y se resaltó la importancia de saltar lo más alto posible. Los participantes mantuvieron los brazos en jarra, con las manos en la cadera, desde el inicio del movimiento hasta la caída. También, se controló que las plantas de los pies se mantuvieran en contacto con el suelo durante todo el contramovimiento. Para el test SJ, los participantes flexionaban sus rodillas lentamente hasta alcanzar un ángulo de 90°. En esta posición tenían que mantenerse durante 2 segundos antes de la realización del salto y evitando que existiera contramovimiento alguno. Para el CMJ, los participantes comenzaban de pie; a continuación realizaban un contramovimiento en el que alcanzasen una flexión de rodilla de 90° e inmediatamente después realizaban la fase de propulsión tratando de alcanzar la mayor altura posible (Hébert-Losier et al., 2014; Lloyd et al., 2011). Todos los saltos fueron controlados por dos investigadores. Cuando alguna de las indicaciones no eran realizadas de forma correcta, el salto era repetido. Un total de 3 saltos exitosos de cada tipo fueron registrados, dando un tiempo de descanso entre cada salto de 2 minutos (McBride et al., 2010).

---

### 3.1.3 ANÁLISIS DE LOS DATOS

El intento con el que se consiguió la mayor altura de cada tipo de salto fue seleccionado para realizar el análisis (McLellan et

al., 2011; Ugrinowitsch, Tricoli, Rodacki, Batista, & Ricard, 2007). Se utilizó el software de la plataforma de fuerzas (QuattroJump, Type 2822A1-1, Version 1.0.9.2) para obtener los valores de fuerza. Una vez los datos eran extraídos del software, se analizaban según las recomendaciones de Street et al. (2001).

El primer lugar, se buscaba el instante en el que el participante iniciaba el salto. Para ello, se identificaba en los registros de fuerza-tiempo el primer instante en el cual la fuerza vertical se desviaba por encima o por debajo del peso corporal más un umbral. El peso corporal fue considerado la media aritmética de los valores de fuerza registrados por la plataforma durante los dos primeros segundos mientras el participante estaba estático. El umbral fue definido como 1.75 veces el pico residual encontrado durante los mencionados 2 segundos iniciales de registro (Street et al., 2001). El pico residual era considerado como la diferencia entre el valor de fuerza registrado por la plataforma a cada instante y el peso. Una vez hallado el valor de fuerza superior o inferior al umbral calculado, se inspeccionaban hacia atrás los registros fuerza-tiempo para identificar el instante en que la fuerza vertical cruzaba con el peso corporal, este punto era considerado como el inicio del movimiento (Street et al., 2001).

En segundo lugar, se calculaba el valor de fuerza neta para cada instante, para ello la fuerza vertical registrada era restada al peso. Se debe tener en cuenta que la única fuerza que fue



analizada fue la fuerza vertical, por lo que todas las variables calculadas pertenecen al eje vertical.

$$\text{Fuerza neta} = \text{Fuerza de reacción} - \text{Peso}$$

Posteriormente, a través de los registros de fuerza-tiempo se calculó el impulso. El impulso neto fue obtenido integrando la fuerza neta de reacción vertical del suelo respecto al tiempo a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Impulso neto} = \Delta t \left( \frac{F_1 + F_n}{2} + \sum_{i=2}^{n-1} F_i \right)$$

donde F fue el valor de fuerza neta.

En tercer lugar, una vez conocido el impulso neto para cada instante, se calculaba la velocidad vertical del centro de masas. Para ello, se dividía el impulso neto entre la masa del participante.

$$\text{Velocidad del centro de masas} = \frac{\text{Impulso neto}}{\text{Masa}}$$

En cuarto lugar, se utilizaron los valores de velocidad del centro de masas para calcular el desplazamiento vertical durante la ejecución del salto utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Desplazamiento del centro de masas} = \Delta t \left( \frac{V_1 + V_n}{2} + \sum_{i=2}^{n-1} V_i \right)$$

donde V fue la velocidad del centro de masas.

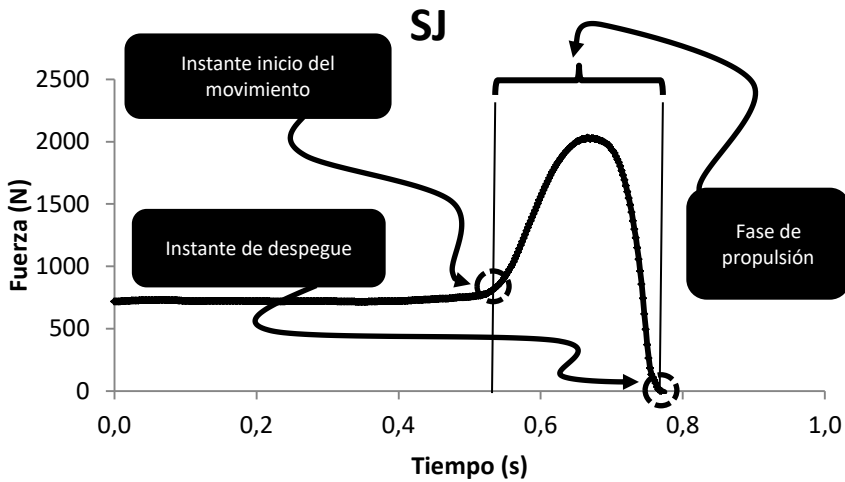
En quinto lugar, se calculó el trabajo realizado durante el salto integrando los valores de fuerza neta respecto a los de desplazamiento del centro de masas a través de la siguiente fórmula:

$$Trabajo = \Delta D \left( \frac{F_1 + F_n}{2} + \sum_{i=2}^{n-1} F_i \right)$$

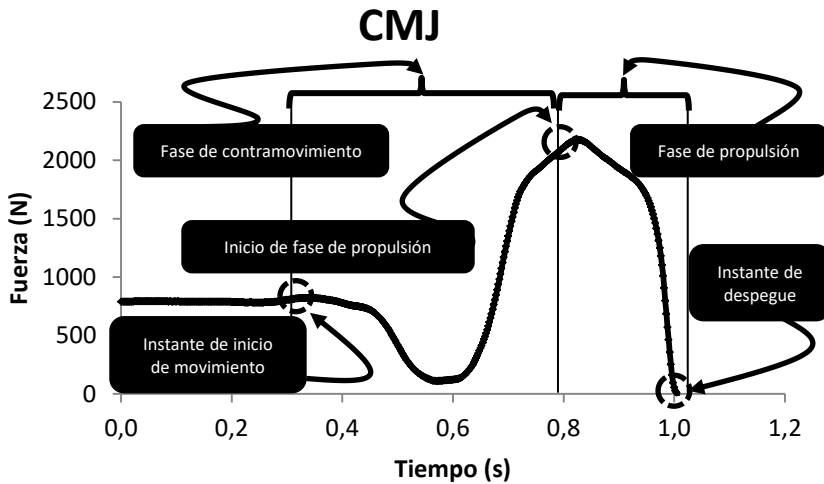
donde D fue el desplazamiento del centro de masas y F fue la fuerza neta.

En sexto lugar, se determinó el instante de despegue del salto, definido como la primera intersección de las fuerzas de reacción verticales con un umbral. Este umbral fue establecido como la máxima diferencia entre el valor registrado y el valor promedio de los registros obtenidos durante la fase de vuelo (Street et al., 2001).

Varias variables durante la ejecución del salto vertical fueron determinadas durante la fase de propulsión del salto. Se consideró fase de propulsión para el SJ desde el instante de inicio del movimiento hasta el instante de despegue (Figura 10). En el CMJ se consideró la fase de propulsión desde el instante en que la velocidad del centro de masas era 0, tras el frenado de dicha velocidad durante el contramovimiento, hasta el instante de despegue (Figura 11). Las variables del contramovimiento del CMJ no fueron identificadas ya que en el SJ solo existe fase de propulsión.



**Figura 10.** Fases del movimiento en el SJ.



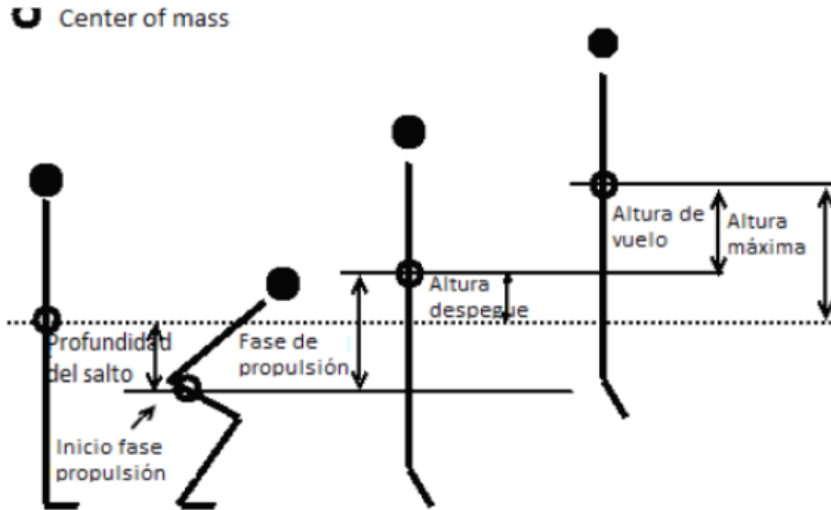
**Figura 11.** Fases del movimiento en el CMJ.

La altura máxima, la altura de vuelo, la altura en el instante de despegue, la profundidad del salto y el desplazamiento durante la fase de propulsión fueron identificadas a partir de los registros de desplazamiento del centro de masas. Las alturas anteriores fueron calculadas en relación a la altura del centro de masas en

bipedestación. Se debe tener en cuenta que en el presente análisis se desconoce el punto exacto del centro de masas de cada participante. El punto inicial desde el que se inicia el registro fue el considerado como 0 y todos los valores de desplazamiento se refieren a la diferencia desde este punto inicial 0, hasta el lugar donde se encuentre el centro de masas, con respecto al eje vertical, en los diferentes instantes determinados. Se debe tener en cuenta que todas las variables de desplazamiento son referentes al eje vertical. Por otro lado, en la presente tesis doctoral se habla de centro de masas en lugar de centro de gravedad, ello es debido a que es más frecuente la utilización de esta terminología en la literatura científica. Además, se entiende que para el caso del ser humano en la tierra al existir campos gravitacionales uniformes el centro de masas y el de gravedad coinciden.

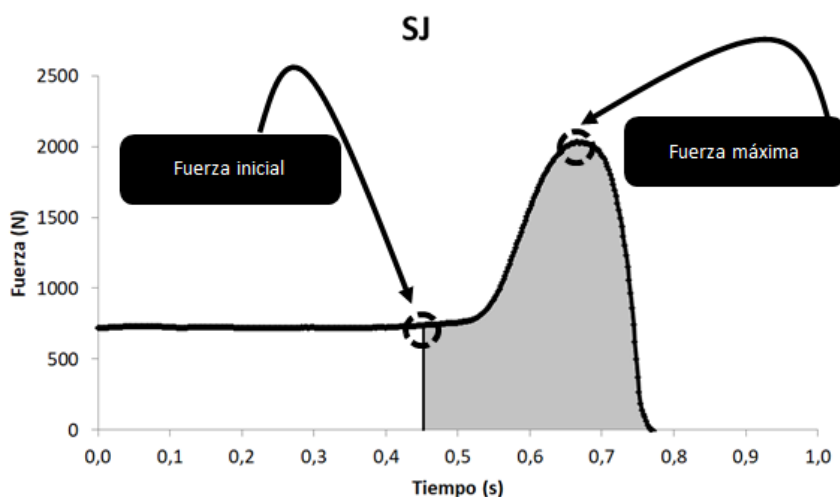
Se consideró la altura máxima como el valor más alto alcanzado por el centro de masas desde la posición inicial del salto hasta el punto más alto durante el vuelo. La altura de despegue hace referencia a la altura del centro de masas en el instante de despegue en referencia a la posición inicial. La altura de vuelo se calculó a partir de la diferencia entre la altura máxima y la altura de despegue. La profundidad del salto fue considerada como la diferencia entre la posición en el instante de inicio de la fase de propulsión y la altura inicial del centro de masas. Por último, el desplazamiento del centro de masas durante la fase de propulsión

del salto fue la suma de la altura de despegue y el valor de profundidad del salto (Figura 12).

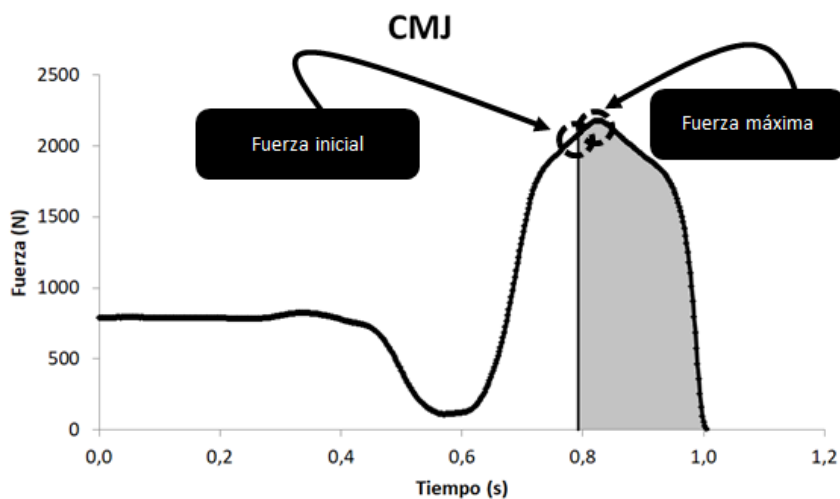


**Figura 12.** Variables de desplazamiento del centro de masas.

La fuerza máxima fue identificada como el máximo valor de los registros de fuerza alcanzado durante la fase de propulsión. La fuerza media también fue calculada durante la fase de propulsión de los saltos, calculando la media aritmética de los registros obtenidos. La fuerza inicial fue el valor de fuerza registrado en el instante de inicio de la fase de propulsión (Figura 13-14). El valor del trabajo durante la fase de propulsión corresponde al valor obtenido hasta el instante de despegue. Todas las variables de fuerza y trabajo fueron normalizadas con el peso corporal.



**Figura 13.** Variables de fuerza durante el SJ.



**Figura 14.** Variables de fuerza durante el CMJ.

### 3.1.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico fue realizado con el software SPSS 18.0. Se calculó la media y desviación estándar de todos los participantes en cada una de las variables analizadas. Se verificó la

normalidad de los datos a través del test de Shapiro-Wilk. Cuando los datos seguían una distribución normal, una prueba T para muestras relacionadas era utilizada para conocer las diferencias en las variables entre el SJ y el CMJ. Cuando los datos no seguían una distribución normal, se utilizó el test no paramétrico de Wilcoxon. El valor de significación fue fijado a  $P < 0,05$ . La magnitud de las diferencias entre las distintas variables de los saltos fue calculada a través del tamaño del efecto de Cohen d (Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009). El criterio para interpretar la magnitud del cambio fue el siguiente: trivial = 0,00 – 0,19, pequeño = 0,20 – 0,59, moderado = 0,60 – 1,20 y grande  $> 1,20$  (Hopkins et al., 2009).

Una regresión múltiple hacia atrás fue utilizada para determinar que parámetros predecían de forma significativa las diferencias entre el SJ y el CMJ. Las variables independientes incluidas fueron: diferencia en el desplazamiento del centro de masas entre el SJ y el CMJ, diferencia en la fuerza máxima entre el SJ y el CMJ y diferencia en la fuerza media durante la fase de propulsión en ambos saltos. La variable dependiente fue la diferencia en la altura de salto alcanzada entre el SJ y el CMJ. Por último, los coeficientes beta estandarizados fueron utilizados como estimadores de la influencia de cada una de las variables independientes sobre la variable dependiente.

### 3.2 RESULTADOS

Las medias y desviaciones estándar (media  $\pm$  SD) para cada variable perteneciente al desplazamiento del centro de masas durante el SJ y el CMJ se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Resultados (media  $\pm$  SD) de las variables de desplazamiento.

Variables	SJ	CMJ	ES
$H_{\max}$ (m)	0,41 $\pm$ 0,07	0,47 $\pm$ 0,06*	0,85
$H_{\text{vuelo}}$ (m)	0,28 $\pm$ 0,05	0,33 $\pm$ 0,05*	1,29
$H_{\text{despegue}}$ (m)	0,13 $\pm$ 0,04	0,14 $\pm$ 0,03	0,12
$D_{\text{propulsión}}$ (m)	0,35 $\pm$ 0,05	0,42 $\pm$ 0,03*	1,55
$D_{\text{profundidad}}$ (m)	-0,22 $\pm$ 0,07	-0,28 $\pm$ 0,04*	0,82

Nota: ES: Tamaño del efecto,  $H_{\max}$ : Altura máxima,  $H_{\text{vuelo}}$ : Altura de vuelo,  $H_{\text{despegue}}$ : Altura de despegue,  $D_{\text{propulsión}}$ : Desplazamiento del centro de masas durante la fase de propulsión,  $D_{\text{profundidad}}$  = Posición del centro de masas en el instante de inicio de la fase de propulsión con respecto a la posición inicial. \*  $P < 0,05$

Los resultados mostraron que el rendimiento en la altura saltada fue un 15% superior en el CMJ con respecto al SJ y que tuvo un tamaño del efecto moderado. No se encontraron diferencias en



la altura de despegue entre ambos tipos de saltos, pero sí se encontraron diferencias estadísticamente significativas y con un tamaño del efecto grande en la altura de vuelo, siendo mayor en el CMJ. Se encontraron diferencias en las variables relacionadas con el desplazamiento del centro de masas entre los dos saltos medidos. Los resultados mostraron que la profundidad que tenía el centro de masas en el CMJ era superior a la que se alcanzaba en el SJ, siendo mayor la distancia recorrida por el centro de masas durante la fase de propulsión del movimiento.

Las variables de fuerza y trabajo aparecen en la Tabla 2 con sus medias y desviación estándar (media  $\pm$  SD).

**Tabla 2.** Resultados (media  $\pm$  SD) de las variables de fuerza.

Variables	SJ	CMJ	ES
$F_{\text{media}}$ (BW)	1,95 $\pm$ 0,21	2,05 $\pm$ 0,15*	0,53
$F_{\text{inicial}}$ (BW)	1,00 $\pm$ 0,00	2,44 $\pm$ 0,22*	6,64
$F_{\text{max}}$ (BW)	2,52 $\pm$ 0,24	2,52 $\pm$ 0,20	-0,01
Trabajo ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	2,93 $\pm$ 0,50	3,41 $\pm$ 0,55*	1,27

Nota: ES: Tamaño del efecto,  $F_{\text{media}}$ : Fuerza media,  $F_{\text{inicial}}$ : Fuerza inicial,  $F_{\text{max}}$ : Fuerza máxima. \* $P < 0,05$

En las variables de aplicación de fuerza, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la fuerza media, siendo mayor para el CMJ en comparación el SJ y mostrando un tamaño del efecto pequeño. Sin embargo, no se encontraron diferencias en el valor de fuerza máxima alcanzado entre los dos tipos de salto. En cuanto al trabajo, se encontró un tamaño del efecto grande en favor del CMJ sobre el SJ, siendo la diferencia estadísticamente significativa.

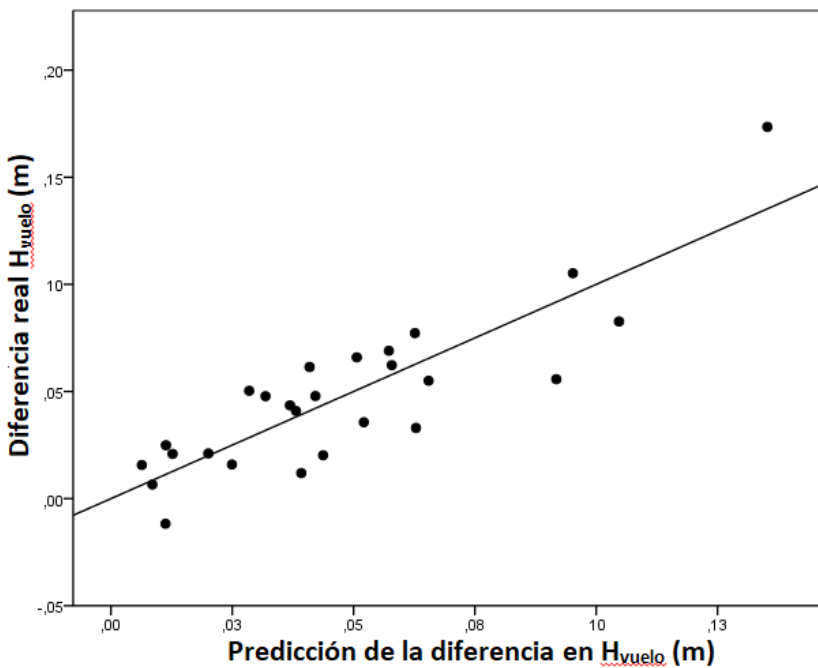
Los resultados del análisis de regresión múltiple mostraron una relación fuerte entre la diferencia en la altura de vuelo entre el SJ y el CMJ y las diferencias entre el desplazamiento del centro de masas y la fuerza media entre ambos tipos de salto (Tabla 3).

**Tabla 3.** Regresión múltiple para predecir la influencia de las variables de desplazamiento y aplicación de fuerza sobre los cambios en la altura de vuelo entre el SJ y el CMJ.

Variables independientes	Coeficientes no estandarizados	Error estándar	Coeficientes Beta estandarizados	Valor-t
	B			
R <sup>2</sup> = 0,745, F = 33,96*				
(Constante)	-0,019	0,009		-2,083
$\Delta D_{\text{propulsión}}$	0,795	0,103	0,901	7,750*
$\Delta F_{\text{media}}$	0,146	0,024	0,702	5,943*

Nota:  $\Delta D_{\text{propulsión}}$ : Diferencias entre el desplazamiento durante la fase de propulsión entre el SJ y el CMJ.  $\Delta F_{\text{media}}$ : Diferencias en la fuerza media entre el SJ y el CMJ. \* $P < 0,01$

Las diferencias en la altura de vuelo mostraron estar asociadas a una mayor distancia de propulsión ( $P < 0,001$ ) y una mayor fuerza media ( $P < 0,001$ ) en el CMJ. Estas dos variables explican un 75% de la varianza en la diferencia entre las alturas de vuelo (Figura 15). De estas dos variables, la diferencia en el desplazamiento del centro de masas durante la fase de propulsión del salto, entre el CMJ y el SJ, tuvo una mayor influencia que la fuerza media (un 30% menor) a la hora de explicar las diferencias en la altura de vuelo entre los dos tipos de salto.



**Figura 15.** Diagrama de dispersión de la relación entre la diferencia real y la esperada entre el SJ y el CMJ en la altura de vuelo ( $H_{\text{vuelo}}$ ).

### 3.3 DISCUSIÓN

El incremento en la altura de vuelo entre el SJ y el CMJ quedó explicado en un 75% por las diferencias entre el recorrido realizado por el centro de masas y las diferencias en la fuerza media durante la fase de propulsión del movimiento. Debido a que la altura de despegue no mostró diferencias entre los dos saltos realizados, las diferencias en el desplazamiento del centro de masas durante la fase de propulsión tuvieron que ser debidas a la mayor profundidad alcanzada durante el CMJ. Estos resultados están en consonancia con investigaciones previas en las que se encontró que el rendimiento del salto vertical se veía incrementado cuando se producía un mayor desplazamiento en el centro de masas durante la fase de propulsión (Kirby et al., 2011; Salles et al., 2011). A pesar de la pequeña diferencia en la profundidad del movimiento acontecida entre el SJ y el CMJ ( $\approx 0,06$  m), el efecto producido fue el mayor determinante a la hora de explicar la diferencia entre los dos saltos. Por este motivo, como ha sido evaluado en otras investigaciones, no es necesario generar grandes cambios en el desplazamiento del centro de masas para modificar el rendimiento del salto vertical (Domire & Challis, 2007). Investigaciones previas encontraron una relación estadísticamente significativa entre la altura de salto y el recorrido realizado por el centro de masas (Barker et al., 2017). Ello sugiere la necesidad de controlar el desplazamiento del centro de masas, a la hora de evaluar la efectividad del ciclo estiramiento-acortamiento a través

de la diferencia saltada entre el SJ y el CMJ. Entrenadores, preparadores físicos y previas investigaciones, han utilizado, al igual que en la presente investigación, el criterio estandarizado de 90° de flexión de rodilla en el SJ y en el CMJ (Hébert-Losier et al., 2014; Lloyd et al., 2011). Tras lo analizado en el presente trabajo, este criterio parece ser insuficiente para garantizar que el desplazamiento del centro de masas no afecta a las diferencias encontradas entre los dos saltos analizados. Una posible explicación es la relevancia que tienen otros segmentos de una mayor masa como el tronco, en el desplazamiento del centro de masas durante el salto vertical (Kopper et al., 2012). Por estos motivos, parece necesario buscar nuevos métodos y protocolos que aseguren la reproducibilidad de evaluar la efectividad del ciclo estiramiento-acortamiento a través de la diferencia entre el SJ y el CMJ.

La fuerza media durante la fase de propulsión del movimiento mostró diferencias significativas entre el SJ y el CMJ, siendo la única variable de aplicación de fuerza que mostró diferencias entre los dos tipos de salto. Estos resultados en cierta medida contrastan con la idea de que la fuerza media no es considerada un buen predictor de la altura del salto (Barker et al., 2017). Esta discrepancia de resultados podría ser debida a los menores rangos de movimiento registrados por Barker et al. (2017). Estudios previos sugieren que la profundidad del contramovimiento influye en la cantidad de fuerza aplicada

durante el salto (Kirby et al., 2011; Salles et al., 2011). Por otro lado, otras investigaciones han mostrado a la fuerza media como un factor determinante en el rendimiento del salto vertical (Feltner et al., 2004). Debido a que el valor medio de la fuerza es el resultado de un mayor número de puntos a lo largo del salto vertical, la utilización de esta variable podría dar una información más completa y representativa que otras variables instantáneas. La fuerza máxima es la variable que más se ha evaluado en el salto vertical (Cormie et al., 2009; Kirby et al., 2011; Nuzzo, McBride, Cormie, & McCaulley, 2008; Salles et al., 2011). Los datos de fuerza máxima en la presente investigación, no mostraron diferencias entre el SJ y el CMJ, a pesar de que el rendimiento en el segundo fue superior. Estos resultados están en la línea de investigaciones previas en las que no se encontró relación entre la fuerza máxima y el rendimiento en el salto vertical (Kirby et al., 2011; Nuzzo et al., 2008). Una posible explicación es la relación que parece tener el desplazamiento del centro de masas con la fuerza máxima, donde se ha observado que cuando se incrementa la profundidad del movimiento, disminuyen los valores de fuerza máxima (Kirby et al., 2011; Markovic, Mirkov, Knezevic, & Jaric, 2013; Salles et al., 2011). Por este motivo, la fuerza máxima no parece una variable que determine el salto vertical cuando el desplazamiento del centro de masas es distinto, como ocurrió en la presente investigación al comparar el SJ y el CMJ. La fuerza inicial mostró diferencias entre ambos saltos como era de esperar al comparar estos dos saltos. La fuerza en el SJ, debe ser proporcional a su

peso, de lo contrario, habría existido un contramovimiento previo a la acción de subida. Mientras, en el CMJ, debido a la acción de frenar la velocidad negativa del centro de masas durante el contramovimiento, el valor de fuerza ha de ser superior al peso corporal. La fuerza, en el instante de transición de la fase de contramovimiento y propulsión en el salto vertical, ha sido descrita como un factor importante a la hora de determinar las diferencias entre el SJ y el CMJ (Bobbert et al., 1996). Una mayor fuerza en la transición podría dar lugar a un incremento en el impulso neto generado, trayendo como consecuencia un aumento de la velocidad de despegue del centro de masas (Kirby et al., 2011). Sin embargo, en la presente investigación, aquellos participantes que comenzaron un valor de fuerza inicial superior, no necesariamente eran aquellos que alcanzaban la mayor altura en el salto. Un estudio reciente mostró similares resultados, al no encontrar relación entre la fuerza inicial y la altura alcanzada en el salto (Barker et al., 2017). Una posible explicación podría ser que cuando el contramovimiento es más profundo, la disposición de los segmentos para aplicar fuerza es menos favorable. Este hecho podría dar lugar a que, aún con valores inferiores al inicio de la fase de propulsión, se pudiera conseguir una mayor altura de salto, al aplicar fuerza durante un mayor recorrido (Moran & Wallace, 2007; Salles et al., 2011). Futuros estudios deberían examinar el rol de la fuerza en el instante de inicio de la fase de propulsión del salto vertical, controlando el desplazamiento del centro de masas,

debido a la relevancia que este tiene para la comprensión del rendimiento del salto vertical.

La principal limitación de la presente investigación fue que la profundidad del contramovimiento en el CMJ y la posición de partida del SJ fueron controladas visualmente a partir del criterio de 90° de flexión de rodilla. Este método fue elegido con la intención de replicar el procedimiento que habitualmente es utilizado por entrenadores y preparadores físicos en la práctica, así como, en algunas investigaciones previas (Hébert-Losier et al., 2014; Lloyd et al., 2011). Es posible que pudiesen existir pequeñas diferencias entre la percepción visual y el valor real de flexión de rodilla las cuales podrían limitar los resultados del presente estudio. Consecuentemente, son necesarios futuros estudios los cuales cuantifiquen el error que se comete cuando el ángulo de flexión de rodilla es controlado visualmente y cuál es el grado de influencia de ese error en el rendimiento del salto vertical.

### 3.4 CONCLUSIÓN

La presente investigación pone de manifiesto la importancia que tiene el control del desplazamiento del centro de masas a la hora de evaluar la altura alcanzada en el SJ y en el CMJ. El criterio de 90° de flexión de rodilla fue insuficiente para garantizar un mismo desplazamiento del centro de masas en los dos tipos de salto. La influencia del recorrido del centro de masas fue la variable que más explicó la diferencia entre la altura del SJ y del CMJ. Por



este motivo, parece fundamental el control de esta variable para evaluar el ciclo estiramiento-acortamiento a través de la diferencia en la altura saltada entre el SJ y el CMJ. Por último, el pico de fuerza y la fuerza inicial no fueron buenos predictores del rendimiento en los saltos medidos, siendo la fuerza media la variable que más explicó la ganancia en altura del CMJ frente al SJ.



## ESTUDIO 2



## 4. ESTUDIO 2: PROFUNDIDAD DEL SALTO, RENDIMIENTO Y BIOMECÁNICA

### 4.1 MÉTODO

#### 4.1.1 PARTICIPANTES

Veintinueve jugadores de baloncesto y fútbol participaron en esta investigación (edad:  $24 \pm 1,37$  años, altura:  $1,75 \pm 0,05$  metros y peso:  $80 \pm 12$  kg). Ninguno de los participantes había padecido lesión musculo-esquelética en los 6 meses anteriores a la participación en el estudio. Todos los participantes tenían experiencia en acciones que involucraban saltos, estando capacitados para realizar saltos variando la profundidad del contramovimiento. La presente investigación fue realizada de acuerdo a la declaración de Helsinki y todos los participantes firmaron el consentimiento informado antes de la participación en el estudio.

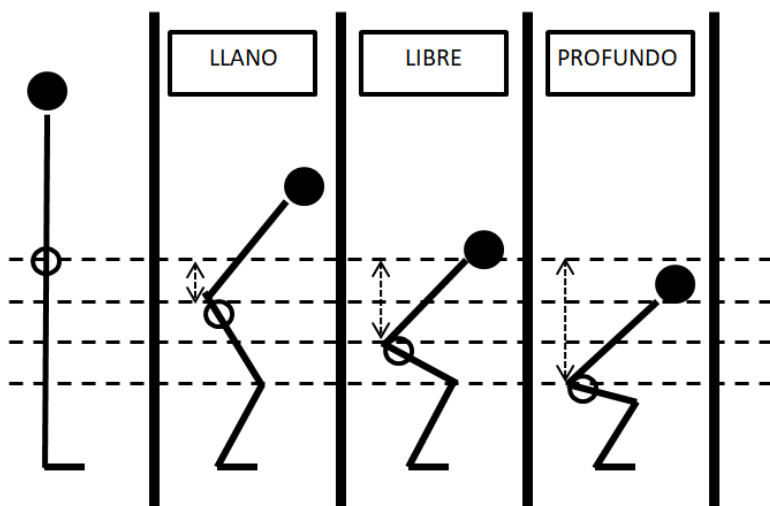
#### 4.1.2 PROCEDIMIENTO

Los participantes realizaron saltos con contramovimiento sobre una plataforma de fuerzas (Dinascan 600M, Instituto de Biomecánica de Valencia, España) a una frecuencia de muestreo de 1000 Hz. Se realizó una sesión de familiarización para verificar que los participantes eran capaces de realizar los saltos de manera satisfactoria. Debido a la experiencia previa de los participantes en

actividades que implicaban salto, una sesión fue suficiente para garantizar la correcta ejecución de los saltos. La sesión de familiarización se utilizó para determinar la profundidad de los saltos de cada participante.

Previo a la toma de datos, se realizó un calentamiento similar al realizado para el estudio anterior, con la única diferencia fue la ejecución de 6 saltos submáximos variando la profundidad del contramovimiento (Vetter, 2007). Tras el calentamiento los participantes realizaron un total de 9 saltos con contramovimiento modificando la profundidad, en los que mantuvieron los brazos en jarra desde el inicio hasta completar la caída (Figura 16).

○ Posición centro de masas



**Figura 16.** Profundidad del contramovimiento.

Las características en cuanto a la ejecución de los saltos fue la siguiente:

- ✓ 3 saltos en los que los participantes seleccionaban la profundidad del contramovimiento.
- ✓ 3 saltos en los que la profundidad del contramovimiento debía ser mayor que la profundidad autoseleccionada.
- ✓ 3 saltos en los que la profundidad del contramovimiento debía ser menor que la profundidad autoseleccionada.

Todos los intentos fueron realizados de manera aleatoria. Las instrucciones fueron estandarizadas para todos los participantes y para cada salto:

- ✓ Para los saltos en los que los participantes seleccionaban la profundidad del salto: “salta lo más alto posible”.
- ✓ Para los saltos en los que la profundidad era mayor: “salta lo más alto posible bajando un poco más”.
- ✓ Para los saltos en los que la profundidad era menor: “salta lo más alto posible bajando un poco menos”.

Se estableció el siguiente criterio para considerar como válido el salto de cada participante:

- ✓ En los saltos con mayor profundidad se consideró válido el intento, cuando el desplazamiento del centro de masas durante el contramovimiento, era al menos 0,05 m mayor

que en los saltos en los que ellos seleccionaban la profundidad.

- ✓ En los saltos con menor profundidad se consideró válido el intento, cuando el desplazamiento del centro de masas durante el contramovimiento, era al menos 0,05 m menor que en los saltos en los que ellos seleccionaban la profundidad.

Cuando un salto no cumplía con el criterio establecido los participantes repetían el salto. Ninguno de los participantes tuvo que repetir más de 2 intentos durante la sesión de toma de datos.

---

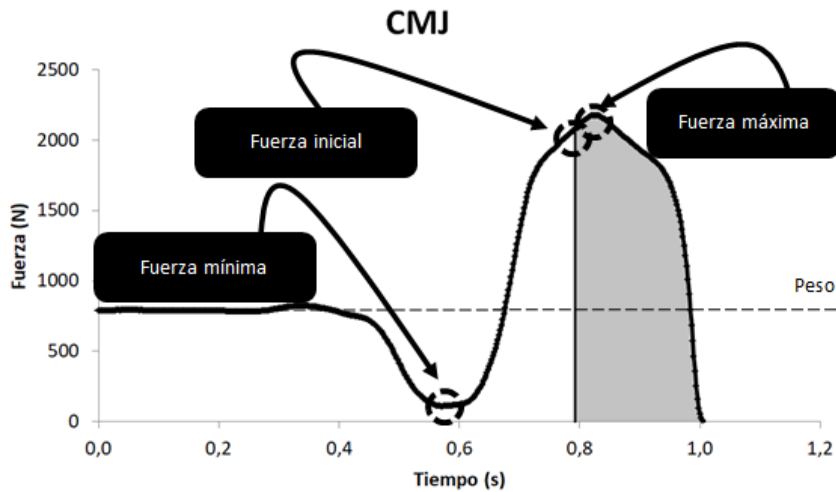
#### 4.1.3 ANÁLISIS

El análisis de los datos obtenidos por la plataforma fue realizado siguiendo la misma metodología descrita en el estudio 1, en el apartado de análisis. En el presente estudio se identificaron variables de la fase de contramovimiento que fue evaluada debido a que todos los saltos contaron con ella.

En cuanto al desplazamiento del centro de masas se identificaron la altura máxima, la altura de vuelo, la altura en el instante de despegue, la profundidad del salto y el desplazamiento durante la fase de propulsión. Las variables de desplazamiento del centro de masas fueron relativizadas en función de la longitud de la pierna (LH), la cual fue calculada como la diferencia entre la estatura en bipedestación y la estatura sentada. En cuanto a las variables de fuerza, se identificaron la fuerza máxima, la fuerza

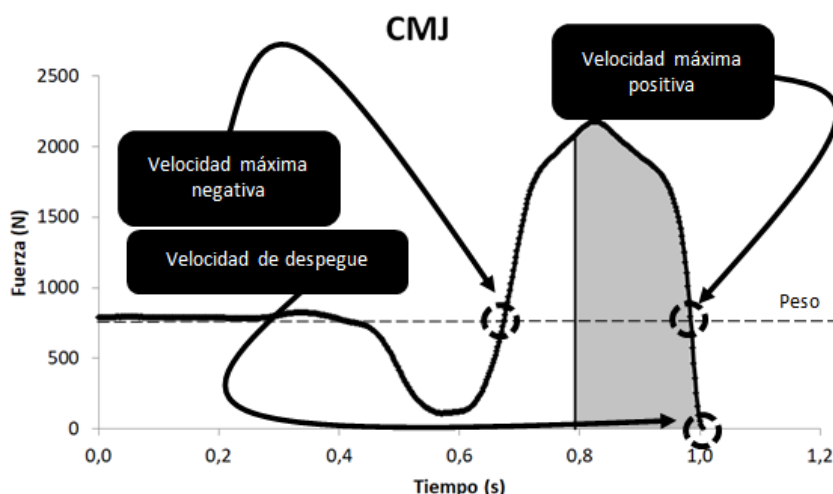


media, la fuerza inicial y la fuerza mínima. Se consideró la fuerza mínima, al menor valor de fuerza registrado durante la fase de contramovimiento (Figura 17). Todas las variables de fuerza fueron relativizadas en función del peso de los participantes.



**Figura 17.** Variables de fuerza durante los CMJ.

Las variables de velocidad del centro de masas identificadas fueron: la velocidad máxima negativa durante la fase de contramovimiento, la velocidad máxima positiva y la velocidad de despegue; estas dos últimas durante la fase de propulsión. La velocidad máxima negativa se definió como el valor de velocidad más alto durante la fase de contramovimiento. La velocidad máxima positiva fue el valor más alto de velocidad alcanzado por el centro de masas durante la fase de propulsión. La velocidad de despegue fue el valor de velocidad que se obtuvo en el instante de despegue (Figura 18).



**Figura 18.** Variables de velocidad durante los CMJ.

#### 4.1.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico fue realizado utilizando la versión 18.0 de SPSS. Las medias y desviaciones estándar fueron calculadas para todas las variables medidas. La normalidad de los datos fue verificada utilizando el test de Shapiro-Wilk. Si los datos se distribuían bajo la campana de Gauss, un test ANOVA de medidas repetidas era utilizado. Cuando el valor de  $F$  era significativo, se realizaban las pruebas post hoc con el ajuste de Bonferroni para conocer entre qué tipo de salto existían diferencias significativas. El nivel de significación fue establecido en  $P < 0,05$ . Si los datos no se ajustaban a la campana de Gauss, se utilizó el test de Wilcoxon para determinar diferencias entre los saltos. La magnitud de las diferencias estandarizadas entre los saltos fue expresada a través del tamaño del efecto (Cohen's  $d_z$ ) (Hopkins et al., 2009). El criterio

para interpretar la magnitud del tamaño de efecto fue: trivial = 0,00 – 0,19, pequeño = 0,20 – 0,59, moderado = 0,60 – 1,20 y grande > 1,20 (Hopkins et al., 2009).

## 4.2 RESULTADOS

Las medias y desviaciones estándar para la altura de salto y el desplazamiento del centro de masas se presentan en la Tabla 4. Los resultados muestran que la profundidad del contramovimiento tenía un efecto estadísticamente significativo en el rendimiento del salto. Ambos, la altura máxima y la altura de vuelo, fueron mayores cuando los participantes realizaron el salto en el que aumentaban la profundidad del contramovimiento en comparación con el salto en el que seleccionaban la profundidad ( $P \leq 0,021$ , tamaño del efecto moderado; 0,50). La profundidad del contramovimiento fue el principal responsable de las diferencias en el desplazamiento del centro de masas durante la fase de propulsión, ya que no se encontraron diferencias en la altura de despegue en ninguno de los tipos de saltos ejecutados.

Los resultados mostraron que la profundidad del contramovimiento también influyó en los parámetros relacionados con la aplicación de fuerza (Tabla 5). Valores menores en la fuerza media fueron observados en los saltos en los que los participantes aumentaban la profundidad del contramovimiento en comparación con aquellos en los que los participantes lo ejecutaban libremente ( $P \leq 0,001$ , tamaño del efecto grande; 1,81). El resto de los

parámetros de aplicación de fuerza no mostraron diferencias significativas entre el salto profundo y en el que seleccionaban la profundidad a pesar de que existieron diferencias en la altura saltada. Diferencias estadísticamente significativas fueron encontradas entre el salto de menor profundidad y el salto libremente seleccionado en la mayoría de los parámetros de aplicación de fuerza. La fuerza inicial ( $P \leq 0,046$ , tamaño del efecto moderado; -0,46), la fuerza máxima ( $P \leq 0,001$ , tamaño del efecto grande; -1,54) y la fuerza media ( $P \leq 0,001$ , tamaño del efecto grande; -1,77) fueron mayores en el salto menos profundo en comparación con el salto con profundidad autoseleccionada.

Todos los parámetros relacionados con la velocidad del centro de masas mostraron diferencias estadísticamente significativas cuando se comparó el salto menos profundo y el más profundo con el salto con profundidad autoseleccionada (Tabla 6). Los saltos en los que la profundidad era superior, consiguieron mayores valores en velocidad del centro de masas, tanto negativa como positiva, en comparación con el salto normal; mientras que, el salto menos profundo, mostró valores menores de velocidad del centro de masas (positiva y negativa) en comparación con el salto normal.

**Tabla 4.** Resultados (media  $\pm$  SD) de la altura y de las variables de desplazamiento del centro de masas.

Variables	CMJP	CMJL	CMJD	ES CMJP-CMJL	ES CMJP-CMJD
$h_{\max}$ (LH)	$0,48 \pm 0,08$	$0,45 \pm 0,06^*$	$0,50 \pm 0,08\#$	0,55	-0,50
$h_{\text{vuelo}}$ (LH)	$0,36 \pm 0,07$	$0,33 \pm 0,06^*$	$0,37 \pm 0,06\#$	0,86	-0,67
$h_{\text{despegue}}$ (LH)	$0,12 \pm 0,03$	$0,12 \pm 0,02$	$0,13 \pm 0,02$	0,03	-0,09
$D_{\text{contramov}}$ (LH)	$0,32 \pm 0,06$	$-0,23 \pm 0,05^*$	$-0,43 \pm 0,06\#$	-2,02	2,47
$D_{\text{propulsión}}$ (LH)	$0,45 \pm 0,06$	$0,35 \pm 0,05^*$	$0,55 \pm 0,06\#$	1,90	-2,16

Nota. CMJP: CMJ libre, CMJL: CMJ llano, CMJD: CMJ profundo, ES: Tamaño del efecto.  $h_{\max}$ : Altura máxima,  $h_{\text{vuelo}}$ : Altura de vuelo,  $h_{\text{despegue}}$ : Altura de despegue,  $D_{\text{contramov}}$ : Desplazamiento del centro de masas durante la fase de contramovimiento,  $D_{\text{propulsión}}$ : Desplazamiento del centro de masas durante la fase de propulsión. \* $P < 0.05$  = Diferencia significativa entre CMJP y CMJL. # $P < 0.05$  = Diferencia significativa entre CMJP y CMJD.

**Tabla 5.** Resultados (media  $\pm$  SD) de las variables de fuerza.

Variables	CMJP	CMJL	CMJD	ES CMJP-CMJL	ES CMJP-CMJD
$F_{\min}$ (BW)	$0,36 \pm 0,22$	$0,40 \pm 0,23$	$0,36 \pm 0,18$	-0,40	0,03
$F_{\text{inicial}}$ (BW)	$2,35 \pm 0,29$	$2,47 \pm 0,35^*$	$2,36 \pm 0,31$	-0,46	-0,05
$F_{\max}$ (BW)	$2,44 \pm 0,23$	$2,81 \pm 0,31^*$	$2,38 \pm 0,28$	-1,54	0,32
$F_{\text{media}}$ (BW)	$1,99 \pm 0,16$	$2,23 \pm 0,21^*$	$1,84 \pm 0,14\#$	-1,77	1,81

Nota. CMJP: CMJ libre, CMJL: CMJ llano, CMJD: CMJ profundo, ES: Tamaño del efecto.  $F_{\min}$ : Fuerza mínima,  $F_{\text{inicial}}$ : Fuerza inicial,  $F_{\max}$ : Fuerza máxima,  $F_{\text{media}}$ : Fuerza media en la fase de propulsión.  $*P<0.05$  = Diferencia significativa entre CMJP y CMJL.  $\#P<0.05$  = Diferencia significativa entre CMJP y CMJD.

**Tabla 6.** Resultados (media  $\pm$  SD) de las variables de velocidad del centro de masas.

Variables	CMJP	CMJL	CMJD	ES CMJP-CMJL	ES CMJP-CMJD
$V_{\text{maxneg}}$ (m•s <sup>-1</sup> )	-1,15 $\pm$ 0,29	-0,95 $\pm$ 0,27*	-1,32 $\pm$ 0,28#	-1,41	1,07
$V_{\text{max}}$ (m•s <sup>-1</sup> )	2,68 $\pm$ 0,20	2,58 $\pm$ 0,18*	2,73 $\pm$ 0,19#	0,95	-0,76
$V_{\text{despegue}}$ (m•s <sup>-1</sup> )	2,54 $\pm$ 0,22	2,44 $\pm$ 0,20*	2,59 $\pm$ 0,21#	0,87	-0,67

Nota. CMJP: CMJ libre, CMJL: CMJ llano, CMJD: CMJ profundo, ES: Tamaño del efecto.  $V_{\text{maxneg}}$ : Velocidad máxima negativa del centro de masas,  $V_{\text{max}}$ : Velocidad máxima del centro de masas,  $V_{\text{despegue}}$ : Velocidad de despegue del centro de masas. \* $P < 0.05$  = Diferencia significativa entre CMJP y CMJL. # $P < 0.05$  = Diferencia significativa entre CMJP y CMJD.

### 4.3 DISCUSIÓN

El principal hallazgo tras la presente investigación fue que las modificaciones en la profundidad del contramovimiento tenían influencia en el rendimiento del salto vertical. La altura alcanzada en el salto se incrementaba cuando el contramovimiento era más profundo que cuando los participantes seleccionaban la profundidad, y decrecía, cuando era menos profundo del elegido libremente por los participantes. Otros estudios (Kirby et al., 2011; Salles et al., 2011) observaron que las modificaciones en la profundidad del salto daban lugar a cambios en la altura saltada aunque el rendimiento en éstos no era mayor que en aquellos saltos en los que los participantes seleccionaban la profundidad (Gheller et al., 2015; Jidovtseff et al., 2014; Kirby et al., 2011; Mandic et al., 2015; McBride et al., 2010). En la presente investigación, se consiguió una mayor altura en los saltos en los que la profundidad era mayor que en aquellos en las que se seleccionaba la profundidad de forma libre, al igual que ocurrió en estudios previos de simulación matemática (Bobbert et al., 2008; Domire & Challis, 2007). Una de las posibles explicaciones ante estos resultados contrapuestos con los estudios experimentales, podría ser atribuida al tipo de instrucción que se le dio a los participantes (Gheller et al., 2015; Jidovtseff et al., 2014; Kirby et al., 2011; Salles et al., 2011). En algunos estudios se les requería a los participantes adoptar una profundidad fija durante el contramovimiento, a través de un grado de flexión de rodilla o un



desplazamiento del centro de masas seleccionado por los investigadores (Kirby et al., 2011; McBride et al., 2010; Salles et al., 2011). Es posible que una orden tan estricta comprometiera la coordinación del salto en los participantes y que estuvieran centrados en alcanzar la profundidad seleccionada por los investigadores, en lugar de centrarse en realizar el mayor esfuerzo posible para alcanzar la mayor altura con el salto. En otro estudio (Gheller et al., 2015), los participantes fueron instruidos para mantener el tronco en una posición vertical, lo que pudo afectar al rendimiento del salto vertical. La importancia de la acción del tronco ya fue previamente descrita en otra investigación (Kopper et al., 2012), por lo que podría ser la causante de los resultados contrapuestos con nuestro estudio. Además de todo lo descrito, los estudios citados anteriormente tienen un tamaño de muestra inferior al de la presente investigación (Gheller et al., 2015; Jidovtseff et al., 2014; Kirby et al., 2011; Salles et al., 2011). Debido a que todos los estudios, para establecer la significación de las diferencias, utilizaron test de contrastes de hipótesis, es posible que al tener una muestra de 10 o menos participantes, diferencias que realmente podrían ser significativas, no hubieran sido estadísticamente observables (Buchheit, 2016). En cualquier caso, la presente investigación utilizó una simple instrucción que modificó ligeramente la profundidad del contramovimiento y ello fue suficiente para incrementar la altura del salto. Debido a que las mediciones fueron realizadas aleatoriamente y tomadas durante

una sola sesión, éste estudio muestra que una mejora en la ejecución podría dar lugar a mejorar la altura del salto vertical.

La relación entre la fuerza aplicada y el rendimiento del salto vertical ha sido ampliamente examinada en la literatura con resultados bastante contradictorios (González-Badillo & Marques, 2010; Kirby et al., 2011; McBride et al., 2010; Salles et al., 2011). La presente investigación encontró valores superiores en las fuerzas de reacción cuando el contramovimiento era menos profundo y no se producían incrementos en la altura del salto. Esto sugiere que los incrementos de fuerza sin un óptimo rango de movimiento, no son capaces de producir mejoras el rendimiento del salto vertical (Jidovtseff et al., 2014; Kirby et al., 2011; Mandic et al., 2015; Salles et al., 2011). En la línea de nuestros resultados, Markovic et al. (2014) observaron que los valores de fuerza estaban influenciados por el desplazamiento del centro de masas. La fuerza inicial, la fuerza máxima y la fuerza media durante la fase de propulsión del salto vertical fueron mayores cuando el salto era menos profundo pero la altura saltada era inferior. Los mayores valores en la fuerza inicial y en la fuerza máxima, podrían ser explicados por la capacidad de los tobillos y rodillas de generar mayores momentos de fuerza al inicio de la fase de propulsión. Una investigación encontró mayores momentos de fuerza en tobillos y rodillas cuando el contramovimiento era realizado a 70°, en lugar de a 90° de flexión de rodilla (Moran & Wallace, 2007). Por esta razón, los investigadores y entrenadores deberían de prestar especial

atención a la hora de interpretar los valores de fuerzas al inicio de la fase de propulsión, debido a la gran influencia que el desplazamiento del centro de masas puede tener en estos valores. Parece ser que los parámetros relacionados con el desplazamiento, podrían modificar los valores de fuerza vertical, y que el incremento en los valores de fuerza, no siempre da lugar a incrementos en el rendimiento del salto vertical. En resumen, los incrementos en fuerza no dan lugar a incrementos en la altura saltada cuando el desplazamiento del centro de masas se ve reducido durante la ejecución del salto vertical.

Este trabajo también mostró que cambios en la profundidad del contramovimiento del salto, también causan modificaciones en la velocidad del centro de masas. Mayores velocidades del centro de masas, durante las fases de contramovimiento y propulsión del salto, fueron encontradas cuando el contramovimiento era más profundo. Estos resultados están en la línea de investigaciones previas en las que encontraron mayores alturas de saltos y mayores velocidades angulares cuando el ángulo de flexión de rodilla se incrementaba de  $70^\circ$  a  $90^\circ$  (Moran & Wallace, 2007). Además, se encontró una relación inversa entre la máxima velocidad negativa del centro de masas durante la fase de contramovimiento y la altura de salto (González-Badillo & Marques, 2010). Según nuestro conocimiento, solo hay un estudio en el que se analizara la máxima velocidad del centro de masas durante la fase de contramovimiento cuando la profundidad del

salto era modificada (Jidovtseff et al., 2014). En ese estudio, a los participantes se les instruyó para que realizaran el contramovimiento lo más rápido posible en aquellos saltos que eran más profundos, pero no se encontraron diferencias significativas entre el salto en el que el contramovimiento era libre y aquellos más profundos (Jidovtseff et al., 2014). La instrucción dada a los participantes de la presente investigación no mencionaba nada sobre la velocidad durante el contramovimiento y aun así la velocidad se vio modificada. Es sabido que incrementos en la velocidad del centro de masas durante el contramovimiento puede optimizar el ciclo estiramiento-acortamiento (Toumi, Best, Martin, F'Guyer, & Poumarat, 2004). Por ello, nuestros resultados sugieren que una combinación adecuada entre la profundidad del contramovimiento y una alta velocidad del centro de masas, podría incrementar el rendimiento del salto vertical. Por otro lado, también sugieren que un incremento en la profundidad del contramovimiento ejecutado a una baja velocidad, reduciría el rendimiento del salto vertical. Nuevas investigaciones que analicen la relación entre la profundidad y la velocidad del centro de masas durante el contramovimiento son necesarias para aclarar cuál es la combinación ideal para maximizar el rendimiento del salto vertical.

La presente investigación tiene algunas limitaciones ya que todos los participantes, con indiferencia de la profundidad alcanzada en el salto autoseleccionado, tuvieron que realizar un salto con mayor profundidad y otro con menor profundidad. Pudo

darse el caso, de que la profundidad del contramovimiento seleccionado por los participantes fuera el más adecuado para alguno de ellos. Por otro lado el incremento en la profundidad del contramovimiento no fue el mismo para todos, existiendo participantes que modificaron en mayor medida el desplazamiento del centro de masas durante la ejecución del salto vertical. No obstante, para evitar que la profundidad fuera un foco de atención en los participantes, se asumió que ello ocurriría, aunque debe ser tenido en cuenta a la hora de extrapolar estos resultados.

#### 4.4 CONCLUSIÓN

La presente investigación demostró que una sencilla instrucción dirigida a modificar la profundidad del contramovimiento, podría incrementar la altura saltada en atletas de competición. Una mayor profundidad, permitió a los participantes incrementar la distancia para aplicar fuerza y consecuentemente incrementar el impulso mecánico. Además, mayores valores en la velocidad máxima de bajada fueron encontrados cuando la profundidad del contramovimiento fue mayor. Por otro lado, los valores que describieron la fuerza vertical aplicada no se modificaron cuando la altura del salto se incrementó. Por tanto, el desplazamiento y la velocidad del centro de masas durante la fase de contramovimiento parecen ser parámetros importantes para determinar la efectividad del salto vertical.



## ESTUDIO 3





## 5. ESTUDIO 3: ENTRENAMIENTO, SALTO VERTICAL Y BIOMECÁNICA

### 5.1 MÉTODO

#### 5.1.1 DISEÑO

El presente estudio fue diseñado para comparar el rendimiento del salto vertical y las adaptaciones cinéticas y cinemáticas tras tres programas de entrenamiento distintos. Para realizar esta investigación se seleccionó un grupo de jugadoras de baloncesto que fueron aleatoriamente ubicadas en los diferentes grupos de entrenamiento, con la condición de que los grupos quedaran balanceados en cuanto a la altura saltada en un CMJ: entrenamiento combinado de pesas y pliometría ( $n = 13$ ), entrenamiento pliométrico ( $n = 11$ ) y un control ( $n = 12$ ). Todas las participantes continuaron con sus entrenamientos de baloncesto en pista que consistían en tres sesiones y un partido por semana. La duración de las sesiones de baloncesto en pista tuvieron una duración de 90 minutos y los ejercicios e intensidad eran decididos por los entrenadores. Además de las sesiones en pista, los grupos de entrenamiento combinado y de entrenamiento pliométrico, realizaron dos sesiones extra a la semana de entrenamiento combinado de pesas y pliometría y entrenamiento de pliometría, respectivamente. Este estudio fue llevado a cabo a mitad de temporada durante los meses de febrero y marzo.

Se realizaron comparaciones entre grupos, antes y después del periodo de entrenamiento, para investigar la influencia del entrenamiento sobre variables biomecánicas del salto vertical. El tipo de entrenamiento fue considerado como la variable independiente, mientras que la fuerza, velocidad, desplazamiento del centro de masas, potencia y tiempo, fueron las variables dependientes. Se utilizaron las diferencias estandarizadas para determinar las diferencias existentes en los parámetros biomecánicos del salto vertical tras los diferentes programas de entrenamiento.

---

#### 5.1.2 PARTICIPANTES

Treinta y seis jugadoras de baloncesto participaron en la presente investigación (Tabla 7). Todas las participantes tenían un mínimo de 5 años de experiencia en equipos de baloncesto de competición, teniendo experiencia previa en tareas que implicaban salto. Ninguna de las participantes había padecido lesión musculoesquelética en los 6 meses anteriores a su participación en esta investigación. Todas las participantes firmaron su consentimiento informado antes de su participación.

**Tabla 7.** Características iniciales de los grupos (Media  $\pm$  SD).

Grupo	Edad (años)	Altura (m)	Peso (kg)
PW	23 $\pm$ 2,94	1,68 $\pm$ 0,10	60 $\pm$ 12
P	23 $\pm$ 3,17	1,66 $\pm$ 0,08	69 $\pm$ 11
C	23 $\pm$ 7,28	1,69 $\pm$ 0,06	67 $\pm$ 8,29

Nota. PW: Grupo de entrenamiento combinado de pesas y pliometría, P: Grupo de entrenamiento pliométrico y C: Grupo control.

5.1.3 PROCEDIMIENTO

Las participantes realizaron sesiones de familiarización para ejecutar tanto los saltos con contramovimiento como los ejercicios de entrenamiento asignados a cada grupo. Gracias a que las participantes tenían experiencia previa, dos sesiones de familiarización fueron suficientes para garantizar la ejecución tanto de los saltos como de las sentadillas completas. El test del CMJ se realizó 72 horas antes y después de las 6 semanas de entrenamiento. Todas las sesiones de evaluación fueron llevadas a cabo en los mismos laboratorios y a la misma hora del día, al igual que las sesiones de entrenamiento. Las condiciones medioambientales fueron similares en todas las sesiones de medición y entrenamiento.

**Test de salto vertical.** Inmediatamente antes del test, todos los participantes realizaron un calentamiento de 10 minutos en el

que se siguió el procedimiento explicado en los estudios anteriores (Vetter, 2007). Tras el calentamiento, las participantes realizaban 5 CMJ en los que se les instruyó para que saltaran lo más alto posible en cada intento. Entre cada intento tuvieron un minuto de recuperación. Durante la ejecución del CMJ, desde antes del inicio hasta la caída se mantuvieron las manos en la cadera. Todos los saltos fueron realizados sobre una plataforma de fuerza (Quattro Jump, Kistler Instrument AG, Winterthur, Suiza) registrando a 500 Hz (Figura 19-20).



**Figura 19.** Plano frontal del CMJ.



**Figura 20.** Plano lateral del CMJ.

**Test de resistencia iso-inercial progresivo.** Antes del inicio del test, las participantes realizaron ejercicios de movilidad articular de las extremidades inferiores, 5 repeticiones de sentadilla profunda sin carga y 2 series de 5 repeticiones con 10 kg. La medición consistió en la ejecución de un test iso-inercial de sentadilla profunda en una máquina Smith (Multipower Fitness Line, Peroga, Murcia, España) en el que las cargas se fueron incrementando progresivamente. La sentadilla profunda fue ejecutada del siguiente modo: en la posición inicial las jugadoras se colocaban en bipedestación con rodillas y cadera en la posición anatómica. Los pies separados a la anchura de los hombros y la barra situada sobre la espalda a la altura del acromion. Las participantes descendían hasta que el muslo se situaba en una posición más baja de la línea horizontal con respecto a la rodilla. Posteriormente iniciaban el movimiento de subida hasta alcanzar la posición inicial (Figura 21).



Posición inicial



Final fase excéntrica



Posición final

**Figura 21.** Sentadilla profunda.

Durante la medición se utilizó un transductor lineal (T-Force System, Ergotech, Murcia, España) para medir la velocidad media propulsiva de cada repetición. Los participantes realizaron la acción de subida de la sentadilla a la máxima velocidad posible y la acción de bajada a una velocidad controlada ( $0,4\text{--}0,5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). La carga inicial de la barra con la guía de la máquina Smith fue de 17 kg y ésta se fue incrementando progresivamente hasta que las participantes alcanzaban una velocidad máxima propulsiva de  $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $0,96\text{--}1,04\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) durante la fase de subida de la sentadilla (Gonzalez-Badillo et al., 2015). Esta velocidad fue elegida debido a que fue la que se utilizó durante la primera sesión de entrenamiento. Las participantes realizaron tres repeticiones con cada resistencia y tuvieron 3 minutos de descanso entre serie. La repetición con la que consiguieron mayor velocidad media propulsiva de la serie fue la que determinó el valor de velocidad obtenido en cada serie.

**Programa de entrenamiento.** El calentamiento previo a las sesiones de entrenamiento tuvo una duración de siete minutos, en los que se realizaba carrera continua suave, ejercicio de movilización y 2 series de 5 sentadillas profundas para el grupo de entrenamiento combinado y dos series de 5 saltos para el grupo de entrenamiento pliométrico. En la Tabla 8 se detalla una descripción del plan de entrenamiento realizado por cada grupo. Las participantes de ambos grupos realizaron un total de 12 sesiones de entrenamiento durante 6 semanas en días no consecutivos.

Cada sesión tuvo una duración de 35 minutos aproximadamente y era realizada antes de la sesión de entrenamiento en pista.

**Tabla 8.** Programa de entrenamiento.

Grupos	Semanas	Semanas					
		1	2	3	4	5	6
PW	Sentadilla profunda	3 x 6 1 m·s <sup>-1</sup>	3 x 6 1 m·s <sup>-1</sup>	3 x 6 0.9 m·s <sup>-1</sup>	3 x 4 0.8 m·s <sup>-1</sup>	4 x 4 0.8 m·s <sup>-1</sup>	3 x 3 0.8 m·s <sup>-1</sup>
	Salto repetidos	5 x 5	5 x 5	6 x 5	6 x 5	7 x 5	4 x 5
P	DJ	3 x 6 20 cm	3 x 6 20 cm	3 x 6 30 cm	3 x 4 40 cm	4 x 4 40 cm	3 x 3 40 cm
	Salto repetidos	5 x 5	5 x 5	6 x 5	6 x 5	7 x 5	4 x 5

Nota. PW: Entrenamiento combinado de pesas y pliometría, P: Entrenamiento pliométrico, DJ: Drop jump.

El grupo de entrenamiento combinado realizó sentadilla profunda en la máquina Smith con la carga individual que le permitía desplazar la barra a la velocidad media propulsiva seleccionada para cada sesión. Todas las repeticiones realizadas del entrenamiento fueron medidas con el transductor lineal, de tal forma que las cargas eran reajustadas durante cada sesión o serie. Posterior a las sentadillas profundas realizaban las series de saltos repetidos sin carga, en las que se puso especial atención en que

trataran de alcanzar la mayor altura en cada salto y que el tiempo de contacto en el suelo fuera corto. El tiempo de recuperación entre series durante el ejercicio de sentadilla profunda fue de 3 minutos y durante las series de salto vertical de 1 minuto. El grupo de entrenamiento pliométrico realizó DJ, con caídas desde banco de 0,2, 0,3 y 0,4 m y realizaron el mismo entrenamiento de saltos repetidos que el grupo de entrenamiento combinado. Los tiempos de recuperación fueron de 3 minutos entre serie y serie de DJ y de 1 minuto entre series de saltos repetidos. Todas las sesiones de entrenamiento fueron supervisadas.

---

#### 5.1.4 ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de los saltos antes y después del proceso de entrenamiento fue realizado siguiendo el mismo procedimiento que ha sido explicado previamente para los dos estudios anteriores de la presente tesis doctoral. Las variables de fuerzas analizadas en este estudio fueron: fuerza mínima durante la fase de contramovimiento, fuerza inicial, fuerza máxima durante la fase de propulsión y fuerza media. Se calculó la potencia a partir del producto de la fuerza y la velocidad vertical del centro de masas. De estos cálculos se extrajeron las siguientes variables: potencia máxima relativa (en función del peso de cada participante) de la fase de contramovimiento y de la fase de propulsión. También se calculó la máxima velocidad negativa del centro de masas durante la fase de contramovimiento y su máxima velocidad positiva



durante la fase de propulsión. En cuanto al desplazamiento, se evaluó el realizado por el centro de masas durante la fase de contramovimiento. Por último, el tiempo, tanto de la fase de contramovimiento como de la fase de propulsión, fue analizado.

#### 5.1.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico se seleccionaron 3 de los 5 intentos ejecutados por cada participante tanto para el test inicial como para el test final. Tanto el salto de mayor como el de menor altura fueron eliminados, quedando los 3 centrales. Las medias y desviaciones estándar fueron calculadas para cada variable. El cambio relativo en las variables fue expresado con un intervalo de confianza fijado al 90%. El tamaño del efecto (Cohen  $d_z$ ) para las comparaciones intra-grupo e inter-grupo fue calculado y se establecieron los siguientes umbrales:  $>0,2$  (pequeño),  $>0,6$  (moderado) y  $>1,2$  (largo) (Hopkins et al., 2009). El cambio cuantitativo del efecto positivo o negativo fue evaluado cualitativamente del siguiente modo: 25 – 75%, posible; 75 – 95%, probable, 95 – 99%, muy probable;  $> 99\%$ , prácticamente seguro. Si la probabilidad del efecto era superior a un 5% en ambos casos (positivo o negativo), el efecto era considerado confuso (Buchheit & Mendez-Villanueva, 2014). Para que el efecto fuera considerado substancial, la probabilidad debía ser superior al 75% (Suarez-Arrones et al., 2016; Suarez-Arrones, Núñez, Munguía-Izquierdo, Portillo, & Mendez-Villanueva, 2013).

## 5.2 RESULTADOS

### 5.2.1 RESULTADOS INTRA-GRUPO TRAS EL ENTRENAMIENTO

Se encontraron cambios en la altura del salto tras el entrenamiento combinado y el entrenamiento pliométrico. La probabilidad de que las modificaciones fueran ciertas en función al criterio positiva/confusa/negativa fue de 100/0/0% para el grupo de entrenamiento combinado ( $\Delta$  12%, tamaño del efecto moderado) y de 100/0/0% para el grupo de entrenamiento pliométrico ( $\Delta$  7,20%, tamaño del efecto pequeño).

**Cambios intra-grupo (Grupo de entrenamiento combinado).** La media y desviación estándar del efecto del entrenamiento combinado de pesas y pliometría se presentan en las Tablas 9-11. El grupo de entrenamiento combinado no mostró diferencias substanciales en las variables de aplicación de fuerza, salvo en la fuerza mínima donde se observó una diferencia substancial y cuyo tamaño del efecto fue pequeño. Además, un tamaño del efecto moderado se encontró, tanto en la velocidad máxima negativa como positiva del centro de masas,  $\Delta$  14% (0/2/98%) y  $\Delta$  6,41% (100/0/0%), respectivamente. La profundidad del contramovimiento fue un 11% superior tras el entrenamiento, siendo el tamaño del efecto moderado y substancial (2/20/88%). Por último, se observó un incremento substancial entre los test inicial y final en la potencia máxima de la fase de contramovimiento (tamaño del efecto pequeño, 0/6/94%) y en la

potencia máxima de la fase de propulsión (tamaño del efecto moderado, 100/0/0). La duración de la fase de contramovimiento y de propulsión no mostró alteración tras el entrenamiento realizado.

**Tabla 9.** Resultados del entrenamiento combinado sobre la altura saltada y potencia durante el CMJ (Media  $\pm$  SD).

Variables	Pre-test	Post-test	ES; $\pm 90\%$ CL
Hmax (m)	0,34 $\pm$ 0,03	0,38 $\pm$ 0,05	1,08; $\pm 0,30$ ***
Pmax <sub>ECC</sub> (W·BW <sup>-1</sup> )	-1,35 $\pm$ 0,37	-1,56 $\pm$ 0,39	-0,55; $\pm 0,38$ *
Pmax <sub>CON</sub> (W·BW <sup>-1</sup> )	3,94 $\pm$ 0,48	4,31 $\pm$ 0,60	0,68; $\pm 0,18$ ***

Nota. ES: Tamaño del efecto, Hmax: Altura del salto, Pmax<sub>ECC</sub>: Potencia máxima durante la fase de contramovimiento; Pmax<sub>con</sub>: Potencia máxima durante la fase de propulsión. Cambio \*probablemente substancial, \*\*muy probablemente substancial, \*\*\*prácticamente seguro substancial.

**Tabla 10.** Resultados del entrenamiento combinado sobre las variables de fuerza aplicada durante el CMJ (Media  $\pm$  SD).

Variables	Pre-test	Post-test	ES; $\pm 90\%$ CL
F <sub>min</sub> (BW)	0,43 $\pm$ 0,20	0,37 $\pm$ 0,18	-0,50; $\pm 0,52$ *
F <sub>media</sub> (BW)	1,80 $\pm$ 0,15	1,83 $\pm$ 0,14	0,20; $\pm 0,31$
F <sub>inicial</sub> (BW)	2,13 $\pm$ 0,27	2,16 $\pm$ 0,20	0,12; $\pm 0,29$
F <sub>max</sub> (BW)	2,21 $\pm$ 0,24	2,23 $\pm$ 0,19	0,10; $\pm 0,30$

Nota. ES: Tamaño del efecto, F<sub>min</sub>: Fuerza mínima durante la fase de contramovimiento, F<sub>media</sub>: Fuerza media durante la fase de propulsión; F<sub>inicial</sub>: Fuerza inicial, F<sub>max</sub>: Fuerza máxima durante la fase de propulsión. Cambio \*probablemente substancial, \*\* muy probablemente substancial, \*\*\*prácticamente seguro substancial.

**Tabla 11.** Resultados del entrenamiento combinado sobre la velocidad, desplazamiento y el tiempo durante el CMJ (Media  $\pm$  SD).

Variables	Pre-test	Post-test	ES; $\pm 90\%$ CL
$V_{\text{maxneg}}$ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$-1,01 \pm 0,14$	$-1,15 \pm 0,19$	$-0,81; \pm 0,48^{**}$
$V_{\text{max}}$ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$2,26 \pm 0,14$	$2,41 \pm 0,20$	$0,95; \pm 0,26^{***}$
Crouch (m)	$-0,26 \pm 0,03$	$-0,28 \pm 0,06$	$-0,63; \pm 0,63^*$
$T_{\text{ECC}}$ (s)	$0,64 \pm 0,13$	$0,69 \pm 0,15$	$0,32; \pm 0,50$
$T_{\text{CON}}$ (s)	$0,28 \pm 0,04$	$0,28 \pm 0,04$	$0,21; \pm 0,45$

Nota. ES: Tamaño del efecto,  $V_{\text{maxneg}}$ : Velocidad máxima negativa del centro de masas durante la fase de contramovimiento,  $V_{\text{max}}$ : Velocidad máxima del centro de masas durante la fase de propulsión, Crouch: Desplazamiento del centro de masas durante la fase de contramovimiento,  $T_{\text{ECC}}$ : Duración de la fase de contramovimiento,  $T_{\text{CON}}$ : Duración de la fase de propulsión. Cambio \*probablemente substancia, \*\* muy probablemente substancial, \*\*\* prácticamente seguro substancial.

**Cambios intra-grupo (Grupo de entrenamiento pliométrico).** La media y desviación estándar del efecto del entrenamiento pliométrico se presentan en las Tablas 12-14. El grupo de entrenamiento pliométrico mostró una disminución, cuyo tamaño del efecto fue pequeño, en las variables de fuerza media (0/6/94%) y fuerza inicial (1/10/89%) y una bajada del valor de fuerza máxima (0/1/99%), cuyo tamaño del efecto fue moderado, tras el entrenamiento. En cuanto a las variables de velocidad del centro de masas, tanto la velocidad máxima negativa (tamaño del

efecto pequeño, 0/9/91%), como la velocidad máxima positiva (tamaño del efecto pequeño, 100/0/0%), se vieron incrementadas. También se observó un aumento de la profundidad del centro de masas durante el contramovimiento de un 18%, siendo su tamaño del efecto moderado y substancial (0/0/100%). Por último, el grupo de entrenamiento pliométrico mostró un incremento substancial de la potencia máxima durante la fase de contramovimiento (tamaño del efecto pequeño, 0/19/81%) y en cuanto a la duración de dicha fase (tamaño del efecto moderado, 83/15/2%).

**Tabla 12.** Resultados del entrenamiento pliométrico sobre la altura saltada y potencia durante el CMJ (Media  $\pm$  SD).

Variables	Pre-test	Post-test	ES; $\pm$ 90% CL
Hmax (m)	0,33 $\pm$ 0,04	0,35 $\pm$ 0,04	0,57; $\pm$ 0,10 <sup>***</sup>
Pmax <sub>ECC</sub> (W·BW <sup>-1</sup> )	-1,13 $\pm$ 0,34	-1,27 $\pm$ 0,35	-0,33; $\pm$ 0,26 <sup>*</sup>
Pmax <sub>CON</sub> (W·BW <sup>-1</sup> )	3,83 $\pm$ 0,56	3,96 $\pm$ 0,56	0,21; $\pm$ 0,11

Nota. ES: Tamaño del efecto, CL: Límite de confianza, Hmax: Altura del salto, Pmax<sub>ECC</sub>: Potencia máxima durante la fase de contramovimiento; Pmax<sub>con</sub>: Potencia máxima durante la fase de propulsión. Cambio <sup>\*</sup>probablemente substancia, <sup>\*\*</sup>muy probablemente substancial, <sup>\*\*\*</sup>prácticamente seguro substancial.

**Tabla 13.** Resultados del entrenamiento pliométrico sobre las variables de fuerza aplicada durante el CMJ (Media  $\pm$  SD).

Variables	Pre-test	Post-test	ES; $\pm$ 90% CL
$F_{\min}$ (BW)	$0,55 \pm 0,17$	$0,49 \pm 0,16$	$-0,30; \pm 0,28$
$F_{\text{media}}$ (BW)	$1,79 \pm 0,13$	$1,73 \pm 0,11$	$-0,44; \pm 0,26^*$
$F_{\text{inicial}}$ (BW)	$2,11 \pm 0,17$	$2,00 \pm 0,15$	$-0,59; \pm 0,54^*$
$F_{\max}$ (BW)	$2,21 \pm 0,17$	$2,08 \pm 0,15$	$-0,73; \pm 0,38^{**}$

Nota. ES: Tamaño del efecto, CL: Límite de confianza,  $F_{\min}$ : Fuerza mínima durante la fase de contramovimiento,  $F_{\text{media}}$ : Fuerza media durante la fase de propulsión;  $F_{\text{inicial}}$ : Fuerza inicial,  $F_{\max}$ : Fuerza máxima durante la fase de propulsión. Cambio \*probablemente substancia, \*\* muy probablemente substancial, \*\*\* prácticamente seguro substancial.

**Tabla 14.** Resultados del entrenamiento pliométrico sobre la velocidad, desplazamiento y el tiempo durante el CMJ (Media  $\pm$  SD).

Variables	Pre-test	Post-test	ES; $\pm$ 90% CL
$V_{\max\text{neg}}$ ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	$-0,89 \pm 0,22$	$-1,00 \pm 0,21$	$-0,41; \pm 0,27^*$
$V_{\max}$ ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	$2,22 \pm 0,16$	$2,30 \pm 0,17$	$0,48; \pm 0,09^{***}$
Crouch (m)	$-0,24 \pm 0,04$	$-0,28 \pm 0,03$	$-0,81; \pm 0,28^{***}$
$T_{\text{ECC}}$ (s)	$0,76 \pm 0,15$	$0,81 \pm 0,16$	$0,30; \pm 0,52$
$T_{\text{CON}}$ (s)	$0,27 \pm 0,03$	$0,30 \pm 0,03$	$0,93; \pm 0,35$

Nota. ES: Tamaño del efecto, CL: Límite de confianza  $V_{\max\text{neg}}$ : Velocidad máxima negativa del centro de masas durante la fase de contramovimiento,  $V_{\max}$ : Velocidad máxima del centro de masas durante la fase de propulsión, Crouch: Desplazamiento del centro de masas durante la fase de contramovimiento,  $T_{\text{ECC}}$ : Duración de la fase de contramovimiento,  $T_{\text{CON}}$ : Duración de la fase de propulsión. Cambio \*probablemente substancia, \*\* muy probablemente substancial, \*\*\* prácticamente seguro substancial.

**Cambios intra-grupo (Grupo control).** La media y desviación estándar del grupo control se presentan en las Tablas 15-17. En el grupo control no se encontraron diferencias substanciales en las variables analizadas, salvo en la fuerza inicial y la fuerza máxima, observándose un tamaño del efecto pequeño en ambas variables entre los test inicial y final.

**Tabla 15.** Resultados del grupo control en la altura saltada y potencia durante el CMJ (Media  $\pm$  SD).

Variables	Pre-test	Post-test	ES; $\pm$ 90% CL
Hmax (m)	0,33 $\pm$ 0,03	0,34 $\pm$ 0,03	0,10; $\pm$ 0,23
Pmax <sub>ECC</sub> (W·BW <sup>-1</sup> )	-1,08 $\pm$ 0,24	-1,03 $\pm$ 0,22	0,17; $\pm$ 0,26
Pmax <sub>CON</sub> (W·BW <sup>-1</sup> )	3,96 $\pm$ 0,36	3,90 $\pm$ 0,35	-0,16; $\pm$ 0,18

Nota. ES: Tamaño del efecto, CL: Límite de confianza, Hmax: Altura del salto, Pmax<sub>ECC</sub>: Potencia máxima durante la fase de contramovimiento; Pmax<sub>con</sub>: Potencia máxima durante la fase de propulsión. Cambio \*probablemente substancia, \*\*muy probablemente substancial, \*\*\*prácticamente seguro substancial.

**Tabla 16.** Resultados del grupo control en las variables de fuerza aplicada durante el CMJ (Media  $\pm$  SD).

Variables	Pre-test	Post-test	ES; $\pm$ 90% CL
$F_{\min}$ (BW)	$0,59 \pm 0,12$	$0,60 \pm 0,10$	$0,05; \pm 0,31$
$F_{\text{media}}$ (BW)	$1,81 \pm 0,16$	$1,77 \pm 0,14$	$-0,26; \pm 0,22$
$F_{\text{inicial}}$ (BW)	$2,07 \pm 0,23$	$1,97 \pm 0,21$	$-0,42; \pm 0,23^*$
$F_{\max}$ (BW)	$2,21 \pm 0,23$	$2,12 \pm 0,20$	$-0,35; \pm 0,26^*$

Nota. ES: Tamaño del efecto, CL: Límite de confianza,  $F_{\min}$ : Fuerza mínima durante la fase de contramovimiento,  $F_{\text{media}}$ : Fuerza media durante la fase de propulsión;  $F_{\text{inicial}}$ : Fuerza inicial,  $F_{\max}$ : Fuerza máxima durante la fase de propulsión. Cambio \*probablemente substancia, \*\* muy probablemente substancial, \*\*\* prácticamente seguro substancial.

**Tabla 17.** Resultados del grupo control en la velocidad, desplazamiento y el tiempo durante el CMJ (Media  $\pm$  SD).

Variables	Pre-test	Post-test	ES; $\pm$ 90% CL
$V_{\max\text{neg}}$ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$-0,88 \pm 0,14$	$-0,86 \pm 0,13$	$0,13; \pm 0,27$
$V_{\max}$ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$2,25 \pm 0,10$	$2,24 \pm 0,11$	$-0,15; \pm 0,21$
Crouch (m)	$-0,25 \pm 0,04$	$-0,25 \pm 0,05$	$0,04; \pm 0,29$
$T_{\text{ECC}}$ (s)	$0,81 \pm 0,10$	$0,81 \pm 0,13$	$0,04; \pm 0,48$
$T_{\text{CON}}$ (s)	$0,27 \pm 0,04$	$0,28 \pm 0,04$	$0,23; \pm 0,24$

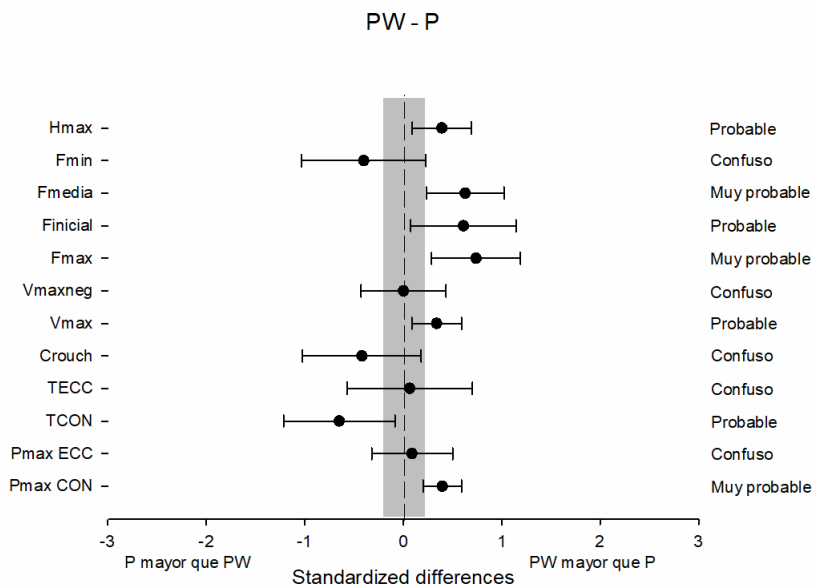
Nota. ES: Tamaño del efecto, CL: Límite de confianza,  $V_{\max\text{neg}}$ : Velocidad máxima negativa del centro de masas durante la fase de contramovimiento,  $V_{\max}$ : Velocidad máxima del centro de masas durante la fase de propulsión, Crouch: Desplazamiento del centro de masas durante la fase de contramovimiento,  $T_{\text{ECC}}$ : Duración de la fase de contramovimiento,  $T_{\text{CON}}$ : Duración de la fase de propulsión. Cambio \*probablemente substancia, \*\* muy probablemente substancial, \*\*\* prácticamente seguro substancial.



### 5.2.2 RESULTADOS INTER-GRUPO TRAS EL ENTRENAMIENTO

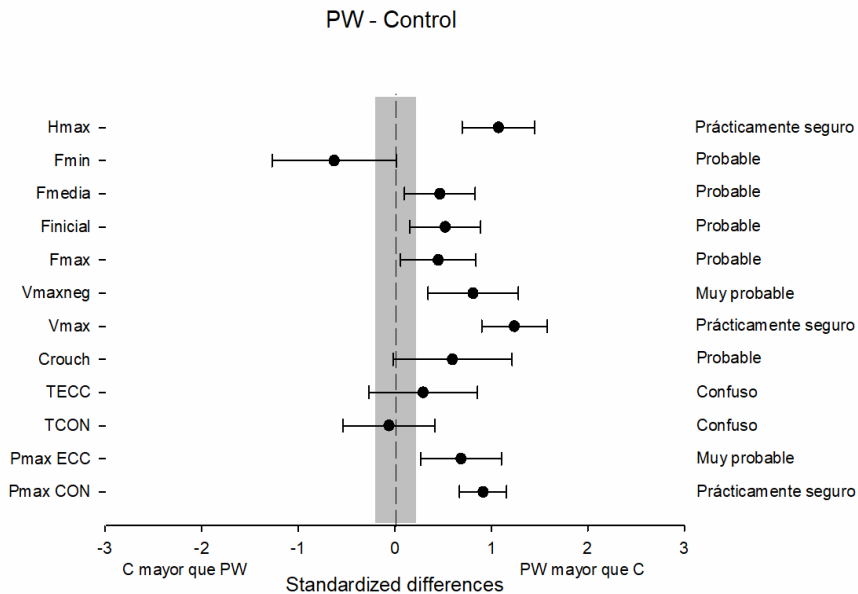
Los resultados de la comparación entre los grupos tras los entrenamientos aparecen representados en la Figura 22, Figura 23 y Figura 24.

**Cambios entre-grupos (entrenamiento combinado vs entrenamiento pliométrico).** Tras el entrenamiento combinado, se encontraron incrementos substanciales y con un tamaño del efecto moderado en la altura de salto y en las variables de fuerza aplicada (excepto en la fuerza mínima) cuando se comparó con el entrenamiento pliométrico. Además, se observó un aumento substancial del grupo de entrenamiento combinado frente al de entrenamiento pliométrico en la potencia máxima conseguida durante la fase de propulsión. Por otro lado, el tiempo de la fase de propulsión tras la intervención se redujo en el grupo de entrenamiento combinado frente al entrenamiento pliométrico substancialmente y su tamaño del efecto fue moderado.



**Figura 22.** Comparación entre grupos PW-P (PW: Grupo de entrenamiento combinado, P: Grupo de entrenamiento pliométrico) para las variables biomecánicas analizadas: Altura del salto (Hmax), fuerza mínima (Fmin), fuerza media (Fmedia), fuerza inicial (inicial), fuerza máxima (Fmax), velocidad máxima negativa (Vmaxneg), velocidad máxima (Vmax), crouch (profundidad del contramovimiento), tiempo fase de contramovimiento (TECC), tiempo fase de propulsión (TCON), potencia máxima durante la fase de contramovimiento (PmaxECC) y potencia máxima durante la fase de propulsión (PmaxCON). Los bigotes indican los intervalos de confianza fijados al 90%. El área sombreada corresponde área de -0.2 a 0.2 (trivial).

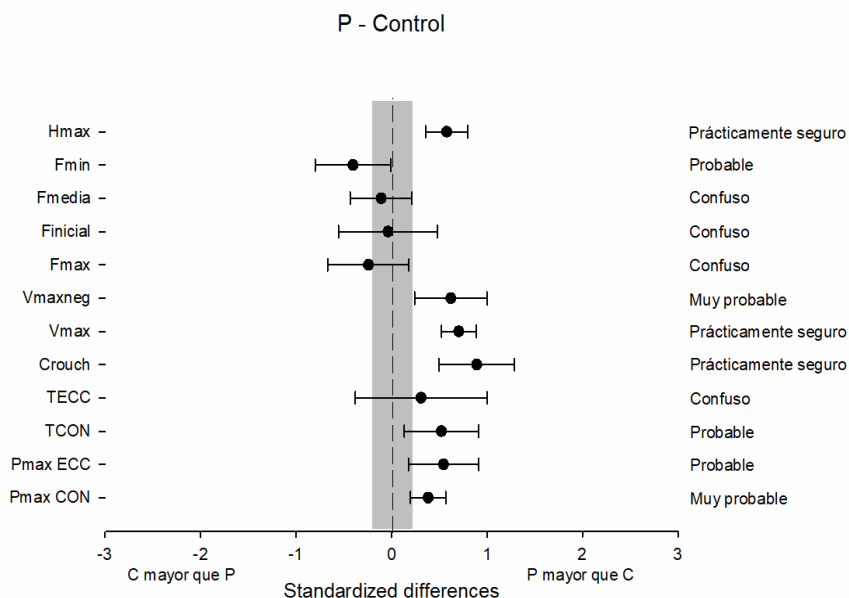
**Cambios entre-grupos (entrenamiento combinado vs control).** Cuando el grupo de entrenamiento combinado fue comparado con el grupo control se incrementaron substancialmente y con un tamaño del efecto moderado todas las variables analizadas del salto vertical, excepto la duración de la fase de contramovimiento en la que no hubo diferencias observables.



**Figura 23.** Comparación entre grupos PW-Control (PW: Grupo de entrenamiento combinado) para las variables biomecánicas analizadas: Altura del salto (Hmax), fuerza mínima (Fmin), fuerza media (Fmedia), fuerza inicial (inicial), fuerza máxima (Fmax), velocidad máxima negativa (Vmaxneg), velocidad máxima (Vmax), crouch (profundidad del contramovimiento), tiempo fase de contramovimiento (TECC), tiempo fase de propulsión (TCON), potencia máxima durante la fase de contramovimiento (PmaxECC) y potencia máxima durante la fase de propulsión (PmaxCON). Los bigotes indican los intervalos de confianza fijados al 90%. El área sombreada corresponde área de -0.2 a 0.2 (trivial).

**Cambios entre-grupos (entrenamiento pliométrico vs control).** Incrementos substanciales y un tamaño de efecto moderado se observaron en el grupo de entrenamiento pliométrico sobre el control en las variables de potencia, velocidad y desplazamiento del centro de masas. Además, se observó un descenso substancial y con un tamaño del efecto moderado, en el grupo de entrenamiento pliométrico frente al control, en la fuerza mínima y la duración de la fase de propulsión del salto. Sin

embargo, la fuerza máxima, fuerza inicial y fuerza media no mostró diferencias tras ambas intervenciones.



**Figura 24.** Comparación entre grupos P-Control (P: Grupo de entrenamiento pliométrico) para las variables biomecánicas analizadas: Altura del salto (Hmax), fuerza mínima (Fmin), fuerza media (Fmedia), fuerza inicial (inicial), fuerza máxima (Fmax), velocidad máxima negativa (Vmaxneg), velocidad máxima (Vmax), crouch (profundidad del contramovimiento), tiempo fase de contramovimiento (TECC), tiempo fase de propulsión (TCON), potencia máxima durante la fase de contramovimiento (PmaxECC) y potencia máxima durante la fase de propulsión (PmaxCON). Los bigotes indican los intervalos de confianza fijados al 90%. El área sombreada corresponde área de -0.2 a 0.2 (trivial).

### 5.3 DISCUSIÓN

El salto vertical mejoró tras el entrenamiento en los grupos de entrenamiento combinado y el entrenamiento pliométrico en comparación con el grupo control en jugadoras de baloncesto entrenadas tras un corto periodo de entrenamiento (12 sesiones). Sin embargo, el efecto generado en las variables biomecánicas que

definen el rendimiento del salto vertical fue diferente en función del tipo de entrenamiento utilizado.

### 5.3.1 EL EFECTO DEL ENTRENAMIENTO COMBINADO SOBRE EL SALTO VERTICAL

Los resultados mostraron que un entrenamiento combinado de pesas y pliometría durante la temporada mejoraba el rendimiento del salto vertical en jugadoras de baloncesto. Investigaciones previas, mostraron que este tipo de entrenamiento mejoraba el rendimiento del salto vertical (Perez-Gomez & Calbet, 2013), aunque el efecto que estos entrenamientos tenían sobre las variables biomecánicas del salto y en jugadoras, en lugar de en varones, no ha sido ampliamente investigado (Perez-Gomez & Calbet, 2013; Sperlich et al., 2016). No obstante, los estudios previos realizados con varones, encontraron incrementos en variables relacionadas con la aplicación de fuerza tras entrenamientos que involucraban sentadillas y saltos con carga (Cormie et al., 2010a, 2010b, 2010c). En la presente investigación, los resultados obtenidos tras el entrenamiento, no mostraron valores superiores en las variables de aplicación de fuerza a diferencia de estos estudios previos. Esta discrepancia, podría ser debida al incremento de la profundidad del contramovimiento observada tras los entrenamientos realizados. Es sabido que incrementos en la profundidad del contramovimiento traen como consecuencia una disminución en las variables de fuerza (Kirby et

al., 2011; Salles et al., 2011). Por otro lado, disminuciones de la profundidad dan lugar a incrementos en la fuerza durante el salto con contramovimiento (Kirby et al., 2011; Salles et al., 2011). Por este motivo, en el caso de que un deportista fuera capaz de mantener valores similares de fuerza ante profundidades superiores de contramovimiento, podría dar lugar a un incremento del impulso. Este aumento en el impulso sería debido al incremento del recorrido sobre el que se aplicaría fuerza, que al tener valores similares de fuerza, traería como consecuencia el incremento en la altura saltada.

En la línea de otras investigaciones, las velocidades del centro de masas y la potencia durante la fase de contramovimiento y propulsión se incrementaron tras el proceso de entrenamiento (Cormie et al., 2010a, 2010b, 2010c). Debido a la relación existente entre la velocidad máxima negativa durante el contramovimiento y la altura alcanzada en el salto vertical (González-Badillo & Marques, 2010), dicha velocidad podría ser considerada una variable importante para analizar las mejoras producidas como consecuencia del entrenamiento sobre el salto vertical. En cuanto a la potencia conseguida durante la fase de contramovimiento, los incrementos encontrados están en la línea de investigaciones previas que utilizaron este tipo de entrenamiento y lo midieron durante el salto vertical (Arabatzí et al., 2010). Sin embargo, en el trabajo realizado por Arabatzí et al. (2010), la potencia máxima durante la fase de propulsión no se incrementó, a diferencia de lo

observado en la presente investigación donde sí que hubo un incremento de dicha variable. Esta discrepancia podría ser debida a una modificación en el peso de los participantes durante el entrenamiento, aunque no podemos asegurarlo ya que los resultados fueron presentados en valores absolutos (Arabatzi et al., 2010).

### 5.3.2 EL EFECTO DEL ENTRENAMIENTO PLIOMÉTRICO SOBRE EL SALTO VERTICAL

Del mismo modo que en el entrenamiento combinado, un entrenamiento a mitad de temporada de pliometría de 6 semanas de duración en jugadoras de baloncesto entrenadas, fue suficiente para incrementar el rendimiento del salto vertical. Sin embargo, los incrementos en la altura alcanzada tras el entrenamiento pliométrico vinieron acompañados de descensos moderados en los valores de aplicación de fuerza. Estos resultados contrastan con los obtenidos por investigaciones previas en las que se reportaron incrementos en la altura del salto al mismo tiempo que se incrementaron los valores de las variables de aplicación de fuerza (Cormie et al., 2010a, 2010b, 2010c). Los descensos en la fuerza acontecidos en la presente investigación vinieron acompañados de incrementos en el desplazamiento y velocidad del centro de masas. Markovic et al. (2013) observaron disminuciones en las variables de aplicación de fuerza cuando se incrementaba la profundidad del contramovimiento tras un entrenamiento sin cargas externas. Esto

sugiere que los entrenamientos sin carga externa podrían incrementar la altura del salto, teniendo una mayor influencia sobre variables relacionadas con el desplazamiento del centro de masas que sobre variables de aplicación de fuerza del salto. No obstante, futuras investigaciones son necesarias para clarificar el efecto del entrenamiento pliométrico sobre las variables biomecánicas del salto vertical. Las variables de potencia no se vieron modificadas tras esta intervención, debido a los incrementos en la velocidad del desplazamiento de masas y la disminución de los valores de fuerza, el producto de ambos no se vio modificado. Este comportamiento ya fue observado previamente en una investigación en la que se modificaba la profundidad del contramovimiento, incrementándose la altura del salto al aumentar el contramovimiento, pero manteniéndose el valor de potencia debido al descenso acontecido en la fuerza (Salles et al., 2011). Debido a ello, los resultados en las variables de potencia deben tener en cuenta la velocidad que consigue el centro de masas durante el salto, ya que es una información relevante para entender los resultados obtenidos. Además, como ya se ha comentado, existe una relación entre la máxima velocidad negativa de la fase de contramovimiento con el salto vertical, que puede servir para explicar posibles efectos de los entrenamientos sobre el rendimiento del salto vertical (González-Badillo & Marques, 2010).



### 5.3.3 ENTRENAMIENTO COMBINADO VS ENTRENAMIENTO PLIOMÉTRICO PARA EL SALTO VERTICAL

Los dos métodos de entrenamiento utilizados en esta investigación incrementaron el rendimiento del salto vertical, aunque el aumento tras la intervención fue superior para el grupo de entrenamiento combinado sobre el de pliometría. Estos resultados siguen la hipótesis de revisiones previas, en las que se presupone un efecto superior tras entrenamientos combinados frente a entrenamientos pliométricos (Perez-Gomez & Calbet, 2013). Los hallazgos de la presente investigación sugieren que el entrenamiento combinado incrementa la capacidad de mantener valores elevados de fuerza cuando el desplazamiento del centro de masas se ve incrementado. Por otro lado, el grupo de entrenamiento pliométrico incrementó el desplazamiento del centro de masas en detrimento de la fuerza aplicada durante el salto. No obstante, en ambos casos, se consiguió un incremento en la velocidad de desplazamiento del centro de masas que trajo como consecuencia el incremento final en el rendimiento del salto. El entrenamiento combinado podría dar lugar a un efecto más completo que el entrenamiento pliométrico, debido a que las variables biomecánicas del salto vertical se incrementaron en un número mayor y en mayor medida tras el primero de los métodos de entrenamiento. Además, en deportes de equipo, como eran las jugadoras de baloncesto que participaron en la presente investigación, la capacidad de alcanzar, no solo una mayor altura,

sino en el menor tiempo posible, es un aspecto importante para el rendimiento deportivo (Domire & Challis, 2015). En este sentido, el efecto que tuvo el entrenamiento combinado fue substancialmente mayor que el obtenido tras el entrenamiento pliométrico.

El presente estudio presenta algunas limitaciones que deben ser conocidas. Los grupos fueron balanceados en función de la altura del salto vertical conseguida durante el test inicial. Investigaciones recientes han observado que dos deportistas pueden tener una misma altura de salto y no conseguir dicha altura del mismo modo (Morin & Samozino, 2016). Aunque ello no fue controlado en este estudio, el efecto obtenido puede servir como indicador sobre el efecto que tiene en entrenamiento combinado de pesas y pliometría y un entrenamiento pliométrico sobre las variables biomecánicas del salto vertical. Por otro lado, la intensidad de las sesiones de entrenamiento en pista, así como de los partidos de competición, no fueron controladas. Otro aspecto que no fue controlado fue el periodo de las jugadoras, ello pudo afectar durante las sesiones de entrenamiento y durante los test.

#### 5.4 CONCLUSIÓN

El entrenamiento combinado de pesas y pliometría y el entrenamiento pliométrico mejoraron el rendimiento del salto vertical en jugadoras de baloncesto entrenadas, pero los incrementos conseguidos tras la intervención fueron superiores en

el primero de ellos. Ambos métodos de entrenamiento modificaron variables biomecánicas del salto vertical relacionadas con la velocidad y el desplazamiento del centro de masas. En cuanto a las variables de aplicación de fuerza el entrenamiento combinado fue capaz de mantenerlas mientras que el entrenamiento pliométrico dio lugar a un descenso en los valores obtenidos previo al entrenamiento. Estos resultados sugieren que el entrenamiento combinado podría ser un método de entrenamiento más efectivo cuando se pretende mejorar el rendimiento del salto vertical en jugadoras de baloncesto entrenadas.



## CONCLUSIONES



## 6. CONCLUSIONES DE LA TESIS DOCTORAL

**Primer objetivo:** determinar la influencia de las variables relacionadas con la aplicación de fuerza y la profundidad del centro de masas en las diferencias en la altura saltada entre el SJ y el CMJ.

### **Conclusiones del primer objetivo:**

- ✓ El desplazamiento del centro de masas es mayor para el CMJ que para el SJ a pesar de la consigna de realizar una flexión de rodilla de 90°.
- ✓ La influencia del recorrido del centro de masas fue la variable que más explicó la diferencia de altura entre ambos saltos, por encima de las variables de aplicación de fuerza.
- ✓ El criterio de 90° de flexión de rodilla no garantiza que el desplazamiento del centro de masas no se vea modificado.

**Segundo objetivo:** el segundo objetivo de la presente tesis doctoral fue determinar cómo modificaciones en la profundidad del contramovimiento del salto vertical podrían dar lugar, tanto a cambios en el rendimiento del salto vertical, como a cambios en parámetros relacionados con la fuerza aplicada y velocidad generada.

### **Conclusiones del segundo objetivo:**

- ✓ Un incremento en la profundidad del contramovimiento permite aumentar la altura conseguida en el salto vertical,

mientras que una disminución en su profundidad, trae como consecuencia una menor altura en el salto.

- ✓ Las variables que describen la fuerza aplicada estuvieron afectadas por la profundidad del contramovimiento.
- ✓ Una disminución de la profundidad del contramovimiento fue acompañado por un aumento en la fuerza aplicada, si bien, el rendimiento del salto fue mermado.
- ✓ Un aumento de la profundidad del contramovimiento fue acompañado por un descenso en la fuerza aplicada, si bien, el rendimiento del salto fue incrementado.
- ✓ La velocidad máxima del centro de masas durante el contramovimiento se vio elevada con el incremento de la profundidad de esta fase, observándose un mayor rendimiento y viceversa.
- ✓ Es posible conseguir incrementos en el rendimiento del salto vertical con valores inferiores de fuerza máxima, siempre y cuando, el tiempo de aplicación de fuerza sea superior.
- ✓ Una ejecución óptima del salto vertical puede dar lugar a un incremento de su rendimiento ante un mismo nivel de condición física.
- ✓ La profundidad del centro de masas parece fundamental para evaluar el rendimiento del salto vertical.

**Tercer objetivo:** evaluar el efecto del entrenamiento pliométrico y el entrenamiento combinado de pesas y pliometría



en las variables de fuerza, potencia, velocidad, tiempo y desplazamiento que determinan el rendimiento en el salto vertical.

**Conclusiones del tercer objetivo:**

- ✓ El entrenamiento combinado de pesas y pliometría y el entrenamiento pliométrico consiguieron mejorar el rendimiento del salto vertical en jugadoras de baloncesto entrenadas durante la temporada.
- ✓ Las mejoras en el rendimiento del salto vertical fueron superiores tras el entrenamiento combinado de pesas y pliometría con respecto al entrenamiento pliométrico.
- ✓ Ambos tipos de entrenamiento traen como consecuencia incrementos en la profundidad y velocidad de contramovimiento.
- ✓ Tras el entrenamiento combinado de pesas y pliometría los valores de aplicación de fuerza durante el CMJ no se modificaron.
- ✓ Las variables de aplicación de fuerza durante el salto se vieron disminuidas tras el entrenamiento pliométrico.
- ✓ La potencia durante la fase de propulsión es incrementada con el entrenamiento combinado.
- ✓ El entrenamiento combinado parece ser más completo en cuanto a la mejora de las variables biomecánicas del salto vertical.



## REFERENCIAS



## 7. REFERENCIAS

- Allison, K. F., Keenan, K. A., Sell, T. C., Abt, J. P., Nagai, T., Deluzio, J., . . . Lephart, S. M. (2015). Musculoskeletal, biomechanical, and physiological gender differences in the US military. *US Army Medical Department Journal*, 2015, 12-22.
- Anderson, F. C., & Pandy, M. G. (1993). Storage and utilization of elastic strain energy during jumping. *Journal of Biomechanics*, 26, 1413-1427.
- Annino, G., Iellamo, F., Palazzo, F., Fusco, A., Lombardo, M., Campoli, F., & Padua, E. (2017). Acute changes in neuromuscular activity in vertical jump and flexibility after exposure to whole body vibration. *Medicine*, 96, e7629.
- Arabatzi, F., & Kellis, E. (2012). Olympic Weightlifting Training Causes Different Knee Muscle–Coactivation Adaptations Compared with Traditional Weight Training. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 26, 2192-2201.
- Arabatzi, F., Kellis, E., & De Villarreal, E. (2010). Vertical jump biomechanics after plyometric, weight lifting, and combined (weight lifting+ plyometric) training. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 24, 2440-2448.

- Arazi, H., Khanmohammadi, A., Asadi, A., & Haff, G. G. (2017). The effect of resistance training set configuration on strength, power, and hormonal adaptation in female volleyball players. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 43, 154-164.
- Argaud, S., de Fontenay, B. P., Blache, Y., & Monteil, K. (2016). Explosive movement in the older men: analysis and comparative study of vertical jump. *Aging Clinical and Experimental Research*, 29, 985-992.
- Avis, F., Toussaint, H., Huijing, P., & Van Ingen Schenau, G. (1986). Positive work as a function of eccentric load in maximal leg extension movements. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55, 562-568.
- Balsalobre-Fernández, C., Glaister, M., & Lockety, R. A. (2015). The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. *Journal of Sports Sciences*, 33, 1574-1579.
- Bampouras, T., Relph, N., Orme, D., & Esformes, J. (2010). Validity and reliability of the Myotest Pro wireless accelerometer. *British Journal of Sports Medicine*, 44, i20.
- Bampouras, T., Relph, N. S., Orme, D., & Esformes, J. I. (2013). Validity and reliability of the Myotest Pro wireless

accelerometer in squat jumps. *Isokinetics and Exercise Science*, 21, 101-105.

Barjaste, A., & Mirzaei, B. (2017). The periodization of resistance training in soccer players: changes in maximal strength, lower extremity power, body composition, and muscle volume. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. En prensa.

Barker, L. A., Harry, J. R., & Mercer, J. A. (2017). Relationships Between Countermovement Jump Ground Reaction Forces and Jump Height, Reactive Strength Index, and Jump Time. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 32, 248-254.

Battaglia, G., Paoli, A., Bellafiore, M., Bianco, A., & Palma, A. (2014). Influence of a sport-specific training background on vertical jumping and throwing performance in young female basketball and volleyball players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 54, 581-587.

Bezerra, P., Zhou, S., Crowley, Z., Brooks, L., & Hooper, A. (2009). Effects of unilateral electromyostimulation superimposed on voluntary training on strength and cross-sectional area. *Muscle & Nerve*, 40, 430-437.

Billot, M., Martin, A., Paizis, C., Cometti, C., & Babault, N. (2010). Effects of an electrostimulation training program on strength, jumping, and kicking capacities in soccer players.

*Journal of Strength & Conditioning Research*, 24, 1407-1413.

Bobbert, M. F., & Casius, L. (2005). Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37, 440-446.

Bobbert, M. F., Casius, L. R., Sijpkens, I. W., & Jaspers, R. T. (2008). Humans adjust control to initial squat depth in vertical squat jumping. *Journal of Applied Physiology*, 105, 1428-1440.

Bobbert, M. F., Gerritsen, K., Litjens, M., & Van Soest, A. J. (1996). Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28, 1402-1412.

Buchheit, M. (2016). The numbers will love you back in return—I promise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11, 551-554.

Buchheit, M., & Mendez-Villanueva, A. (2014). Effects of age, maturity and body dimensions on match running performance in highly trained under-15 soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 32, 1271-1278.



- Burkett, L. N., Phillips, W. T., & Ziuraitis, J. (2005). The best warm-up for the vertical jump in college-age athletic men. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 19, 673-676.
- Cavagna, G., & Citterio, G. (1974). Effect of stretching on the elastic characteristics and the contractile component of frog striated muscle. *Journal of Physiology*, 239, 1-14.
- Cavagna, G., Citterio, G., & Jacini, P. (1975). Proceedings: The additional mechanical energy delivered by the contractile component of the previously stretched muscle. *Journal of physiology*, 251, 65P.
- Conceição, F., Fernandes, J., Lewis, M., González-Badillo, J. J., & Jiménez-Reyes, P. (2016). Movement velocity as a measure of exercise intensity in three lower limb exercises. *Journal of Sports Sciences*, 34, 1099-1106.
- Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2009). Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: impact of training. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 23, 177-186.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2010a). Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42, 1582-1598.

- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2010b). Changes in the eccentric phase contribute to improved stretch-shorten cycle performance after training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42, 1731-1744.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2010c). Influence of strength on magnitude and mechanisms of adaptation to power training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42, 1566-1581.
- Crewther, B., Kilduff, L., Cunningham, D., Cook, C., Owen, N., & Yang, G.-Z. (2011). Validating two systems for estimating force and power. *International Journal of Sports Medicine*, 32, 254-258.
- Currell, K., & Jeukendrup, A. E. (2008). Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. *Sports Medicine*, 38, 297-316.
- Chaabene, H., & Negra, Y. (2017). The Effect of Plyometric Training Volume in Prepubertal Male Soccer Players' Athletic Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12, 1205-1211.
- Channell, B. T., & Barfield, J. (2008). Effect of Olympic and traditional resistance training on vertical jump improvement in high school boys. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 22, 1522-1527.

- Choukou, M.-A., Laffaye, G., & Taiar, R. (2014). Reliability and validity of an accelerometric system for assessing vertical jumping performance. *Biology of Sport*, 31, 55.
- Day, J., Bent, L. R., Birznieks, I., Macefield, V. G., & Cresswell, A. G. (2017). Muscle spindles in human tibialis anterior encode muscle fascicle length changes. *Journal of Neurophysiology*, 117, 1489-1498.
- De Hoyo, M., Pozzo, M., Sañudo, B., Carrasco, L., Gonzalo-Skok, O., Domínguez-Cobo, S., & Morán-Camacho, E. (2015). Effects of a 10-week in-season eccentric-overload training program on muscle-injury prevention and performance in junior elite soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10, 46-52.
- De Hoyo, M., Sañudo, B., Carrasco, L., Domínguez-Cobo, S., Mateo-Cortes, J., Cadenas-Sánchez, M. M., & Nimphius, S. (2015). Effects of traditional versus horizontal inertial flywheel power training on common sport-related tasks. *Journal of Human Kinetics*, 47, 155-167.
- De Villarreal, E. S.-S., Requena, B., & Newton, R. U. (2010). Does plyometric training improve strength performance? A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13, 513-522.

- Domire, Z. J., & Challis, J. H. (2007). The influence of squat depth on maximal vertical jump performance. *Journal of Sports Sciences, 25*, 193-200.
- Domire, Z. J., & Challis, J. H. (2015). Maximum height and minimum time vertical jumping. *Journal of Biomechanics, 48*, 2865-2870.
- Drinkwater, E. J., Pyne, D. B., & McKenna, M. J. (2008). Design and interpretation of anthropometric and fitness testing of basketball players. *Sports Medicine, 38*, 565-578.
- Earp, J. E., Newton, R. U., Cormie, P., & Blazevich, A. J. (2016). Faster movement speed results in greater tendon strain during the loaded squat exercise. *Frontiers in physiology, 7*, 366.
- Ettema, G., Huijing, P., & De Haan, A. (1992). The potentiating effect of prestretch on the contractile performance of rat gastrocnemius medialis muscle during subsequent shortening and isometric contractions. *Journal of Experimental Biology, 165*, 121-136.
- Feltner, M. E., Bishop, E. J., & Perez, C. M. (2004). Segmental and kinetic contributions in vertical jumps performed with and without an arm swing. *Research Quarterly for Exercise and Sport, 75*, 216-230.

- Filipovic, A., Grau, M., Kleinöder, H., Zimmer, P., Hollmann, W., & Bloch, W. (2016). Effects of a whole-body electrostimulation program on strength, sprinting, jumping, and kicking capacity in elite soccer players. *Journal of Sports Science & Medicine*, 15, 639.
- Finni, T., Ikegaw, S., Lepola, V., & Komi, P. (2001). In vivo behavior of vastus lateralis muscle during dynamic performances. *European Journal of Sport Science*, 1, 1-13.
- Floria, P., Gómez-Landero, L. A., & Harrison, A. J. (2014). Variability in the application of force during the vertical jump in children and adults. *Journal of Applied Biomechanics*, 30, 679-684.
- Floría, P., & Harrison, A. J. (2014). The influence of range of motion versus application of force on vertical jump performance in prepubescent girls and adult females. *European Journal of Sport Science*, 14(sup1), S197-S204.
- Gallardo-Fuentes, F., Gallardo-Fuentes, J., Ramirez-Campillo, R., Balsalobre-Fernandez, C., Martínez, C., Cantuqueo, A., . . . Izquierdo, M. (2016). Intersession and Intrasession Reliability and Validity of the My Jump App for Measuring Different Jump Actions in Trained Male and Female Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30, 2049-2056.

- García-López, J., Peleteiro, J., Rodríguez-Marroyo, J., Morante, J., & Villa, J. (2003). Validación biomecánica de un método para estimar la altura de salto a partir del tiempo de vuelo. *Archivos de Medicina del Deporte*, 20, 28-34.
- Gerodimos, V., Zafeiridis, A., Perkios, S., Dipla, K., Manou, V., & Kellis, S. (2008). The contribution of stretch-shortening cycle and arm-swing to vertical jumping performance in children, adolescents, and adult basketball players. *Pediatric Exercise Science*, 20, 379-389.
- Gheller, R. G., Dal Pupo, J., Ache-Dias, J., Detanico, D., Padulo, J., & dos Santos, S. G. (2015). Effect of different knee starting angles on intersegmental coordination and performance in vertical jumps. *Human Movement Science*, 42, 71-80.
- Giroux, C., Rabita, G., Chollet, D., & Guilhem, G. (2015). What is the best method for assessing lower limb force-velocity relationship? *International Journal of Sports Medicine*, 36, 143-149.
- Gollhofer, A., Strojnik, V., Rapp, W., & Schweizer, L. (1992). Behaviour of triceps surae muscle-tendon complex in different jump conditions. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 64, 283-291.
- Gondin, J., Guette, M., Ballay, Y., & Martin, A. (2005). Electromyostimulation training effects on neural drive and

muscle architecture. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37, 1291-1299.

González-Badillo, J., Jiménez-Reyes, P., & Ramírez-Lechuga, J. (2017). Determinant Factors of the Squat Jump in Sprinting and Jumping Athletes. *Journal of Human Kinetics*, 58, 15-22.

González-Badillo, J., & Marques, M. (2010). Relationship between kinematic factors and countermovement jump height in trained track and field athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, 3443-3447.

González-Badillo, J., Marques, M., & Sánchez-Medina, L. (2011). The importance of movement velocity as a measure to control resistance training intensity. *Journal of Human Kinetics*, 29(Special Issue), 15-19.

González-Badillo, J., & Sánchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International Journal of Sports Medicine*, 31, 347-352.

Gonzalez-Badillo, J. J., Pareja-Blanco, F., Rodriguez-Rosell, D., Abad-Herencia, J. L., Del Ojo-Lopez, J. J., & Sanchez-Medina, L. (2015). Effects of velocity-based resistance training on young soccer players of different ages. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29, 1329-1338.

Gonzalo-Skok, O., Tous-Fajardo, J., Valero-Campo, C., Berzosa, C., Bataller, A. V., Arjol-Serrano, J. L., . . . Mendez-Villanueva, A. (2016). Eccentric Overload Training in Team-Sports Functional Performance: Constant Bilateral Vertical vs. Variable Unilateral Multidirectional Movements. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12, 951-958.

Hackett, D., Davies, T., Soomro, N., & Halaki, M. (2016). Olympic weightlifting training improves vertical jump height in sportspeople: a systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 50, 865-872.

Hansen, K. T., Cronin, J. B., & Newton, M. J. (2011). The reliability of linear position transducer and force plate measurement of explosive force–time variables during a loaded jump squat in elite athletes. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 25, 1447-1456.

Hasson, C. J., Dugan, E. L., Doyle, T. L., Humphries, B., & Newton, R. U. (2004). Neuromechanical strategies employed to increase jump height during the initiation of the squat jump. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14, 515-521.

Hébert-Losier, K., Jensen, K., & Holmberg, H.-C. (2014). Jumping and hopping in elite and amateur orienteering athletes and



correlations to sprinting and running. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9, 993-999.

Hodgson, M., Docherty, D., & Robbins, D. (2005). Post-activation potentiation: underlying physiology and implications for motor performance. *Sports Medicine*, 35, 585-595.

Hoffman, J. R., Cooper, J., Wendell, M., & Kang, J. (2004). Comparison of Olympic vs. traditional power lifting training programs in football players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 18, 129-135.

Hopkins, W., Marshall, S., Batterham, A., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41, 3.

Hori, N., Newton, R. U., Andrews, W. A., Kawamori, N., McGuigan, M. R., & Nosaka, K. (2007). Comparison of four different methods to measure power output during the hang power clean and the weighted jump squat. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 21, 314-320.

Ireton, M. R., Till, K., Weaving, D., & Jones, B. (2017). Differences in the Movement Skills and Physical Qualities of Elite Senior & Academy Rugby League Players. *Journal of Strength & Conditioning Research*. En prensa.

- Jidovtseff, B., Quievre, J., Nigel, H., & Cronin, J. (2014). Influence of jumping strategy on kinetic parameters. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 54, 129-138.
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Pareja-Blanco, F., Conceição, F., Cuadrado-Peñañiel, V., González-Badillo, J. J., & Morin, J.-B. (2017). Validity of a simple method for measuring force-velocity-power profile in countermovement jump. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12, 36-43.
- Khlifa, R., Aouadi, R., Hermassi, S., Chelly, M. S., Jlid, M. C., Hbacha, H., & Castagna, C. (2010). Effects of a plyometric training program with and without added load on jumping ability in basketball players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 24, 2955-2961.
- Kibele, A. (1998). Possibilities and limitations in the biomechanical analysis of countermovement jumps: A methodological study. *Journal of Applied Biomechanics*, 14, 105-117.
- Kijowski, K. N., Capps, C. R., Goodman, C. L., Erickson, T. M., Knorr, D. P., Triplett, N. T., . . . McBride, J. M. (2015). Short-term resistance and plyometric training improves eccentric phase kinetics in jumping. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 29, 2186-2196.

- Kirby, T. J., McBride, J. M., Haines, T. L., & Dayne, A. M. (2011). Relative net vertical impulse determines jumping performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 27, 207-214.
- Kobal, R., Loturco, I., Barroso, R., Gil, S., Cuniyochi, R., Ugrinowitsch, C., . . . Tricoli, V. (2017). Effects of Different Combinations of Strength, Power, and Plyometric Training on the Physical Performance of Elite Young Soccer Players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 31, 1468-1476.
- Kobal, R., Pereira, L. A., Zanetti, V., Ramirez-Campillo, R., & Loturco, I. (2017). Effects of Unloaded vs. Loaded Plyometrics on Speed and Power Performance of Elite Young Soccer Players. *Frontiers in Physiology*, 8, 742.
- Komi, P. V., & Bosco, C. (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 10, 261-265.
- Kopper, B., Csende, Z., Sáfár, S., Hortobágyi, T., & Tihanyi, J. (2013). Muscle activation history at different vertical jumps and its influence on vertical velocity. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23, 132-139.
- Kopper, B., Csende, Z., Trzaskoma, L., & Tihanyi, J. (2014). Stretch-shortening cycle characteristics during vertical jumps

carried out with small and large range of motion. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 24, 233-239.

Kopper, B., Ureczky, D., & Tihanyi, J. (2012). Trunk position influences joint activation pattern and physical performance during vertical jumping. *Acta Physiologica Hungarica*, 99, 194-205.

Krüger, K., Pilat, C., Ückert, K., Frech, T., & Mooren, F. C. (2014). Physical performance profile of handball players is related to playing position and playing class. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 28, 117-125.

Kubo, K., Kanehisa, H., Kawakami, Y., & Fukunaga, T. (2000). Elastic properties of muscle-tendon complex in long-distance runners. *European Journal of Applied Physiology*, 81, 181-187.

Kubo, K., Kawakami, Y., & Fukunaga, T. (1999). Influence of elastic properties of tendon structures on jump performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, 87, 2090-2096.

Kubo, K., Morimoto, M., Komuro, T., Yata, H., Tsunoda, N., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2007). Effects of plyometric and weight training on muscle-tendon complex and jump performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39, 1801-1810.

- Kurokawa, S., Fukunaga, T., Nagano, A., & Fukashiro, S. (2003). Interaction between fascicles and tendinous structures during counter movement jumping investigated in vivo. *Journal of Applied Physiology*, 95, 2306-2314.
- Laffaye, G., Wagner, P. P., & Tombleson, T. I. (2014). Countermovement jump height: Gender and sport-specific differences in the force-time variables. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 28, 1096-1105.
- Leard, J. S., Cirillo, M. A., Katsnelson, E., Kimiatek, D. A., Miller, T. W., Trebincevic, K., & Garbalosa, J. C. (2007). Validity of two alternative systems for measuring vertical jump height. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 21, 1296-1299.
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P., . . . Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *PLoS Medicine*, 6(7), 1-28.
- Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69, 1198-1204.
- Louder, T., Bressel, M., & Bressel, E. (2015). The Kinetic Specificity of Plyometric Training: Verbal Cues Revisited. *Journal of Human Kinetics*, 49, 201-208.

- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2011). The influence of chronological age on periods of accelerated adaptation of stretch-shortening cycle performance in pre and postpubescent boys. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25, 1889-1897.
- Mackala, K., Stodółka, J., Siemienski, A., & Coh, M. (2013). Biomechanical analysis of squat jump and countermovement jump from varying starting positions. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 27, 2650-2661.
- Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N., & Duchateau, J. (2016). Rate of force development: physiological and methodological considerations. *European Journal of Applied Physiology*, 116, 1091-1116.
- Maffiuletti, N. A., Pensini, M., & Martin, A. (2002). Activation of human plantar flexor muscles increases after electromyostimulation training. *Journal of Applied Physiology*, 92, 1383-1392.
- Mandic, R., Jakovljevic, S., & Jaric, S. (2015). Effects of countermovement depth on kinematic and kinetic patterns of maximum vertical jumps. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 25, 265-272.

- Mandic, R., Knezevic, O. M., Mirkov, D. M., & Jaric, S. (2016). Control strategy of maximum vertical jumps: The preferred countermovement depth may not be fully optimized for jump height. *Journal of Human Kinetics*, 52, 85-94.
- Markovic, G. (2007). Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review. *British Journal of Sports Medicine*, 41, 349-355.
- Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., & Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 18, 551-555.
- Markovic, G., Mirkov, D., Knezevic, O., & Jaric, S. (2013). Jump training with different loads: effects on jumping performance and power output. *European Journal of Applied Physiology*, 113, 2511-2521.
- Markovic, G., Mirkov, D., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2014). Body size and countermovement depth confound relationship between muscle power output and jumping performance. *Human Movement Science*, 33, 203-210.
- Markovic, G., & Mikulic, P. (2010). Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports Medicine*, 40, 859-895.

- Maroto-Izquierdo, S., García-López, D., & De Paz Fernandez, J. (2016). Functional and muscle-size effects of flywheel resistance training with eccentric overload in professional handball players. *Journal of Human Kinetics*, 60, 133-143.
- Maroto-Izquierdo, S., García-López, D., Fernandez-Gonzalo, R., Moreira, O. C., González-Gallego, J., & de Paz, J. A. (2017). Skeletal muscle functional and structural adaptations after eccentric overload flywheel resistance training: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20, 943-951.
- Marques, M., Gil, H., Ramos, R., Costa, A., & Marinho, D. (2011). Relationships between vertical jump strength metrics and 5 meters sprint time. *Journal of Human Kinetics*, 29, 115-122.
- Marques, M., & González-Badillo, J. J. (2011). Relationship between strength parameters and squat jump performance in trained athletes. *Motricidade*, 7, 43.
- Marques, M., & Izquierdo, M. (2014). Kinetic and kinematic associations between vertical jump performance and 10-m sprint time. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 28, 2366-2371.
- Marques, M., Izquierdo, M., Marinho, D. A., Barbosa, T. M., Ferraz, R., & González-Badillo, J. J. (2015). Association between force-time curve characteristics and vertical jump



- performance in trained athletes. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 29, 2045-2049.
- Marriner, C. R., Cronin, J. B., Macadam, P., & Storey, A. (2017). Redistributing load using wearable resistance during power clean training improves athletic performance. *European Journal of Sport Science*, 17, 1101-1109.
- Marshall, L. C., & Wyon, M. A. (2012). The effect of whole-body vibration on jump height and active range of movement in female dancers. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 26, 789-793.
- Martínez-López, E. J., Benito-Martínez, E., Hita-Contreras, F., Lara-Sánchez, A., & Martínez-Amat, A. (2012). Effects of electrostimulation and plyometric training program combination on jump height in teenage athletes. *Journal of Sports Science & Medicine*, 11, 727-735.
- McBride, J. M., Kirby, T. J., Haines, T. L., & Skinner, J. (2010). Relationship between relative net vertical impulse and jump height in jump squats performed to various squat depths and with various loads. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5, 484-496.
- McBride, J. M., McCaulley, G. O., & Cormie, P. (2008). Influence of preactivity and eccentric muscle activity on concentric

performance during vertical jumping. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 22, 750-757.

McGuigan, M. R., Doyle, T. L., Newton, M., Edwards, D. J., Nimphius, S., & Newton, R. U. (2006). Eccentric utilization ratio: effect of sport and phase of training. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 20, 992-995.

McLellan, C. P., Lovell, D. I., & Gass, G. C. (2011). The role of rate of force development on vertical jump performance. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 25, 379-385.

McMaster, D. T., Gill, N., Cronin, J., & McGuigan, M. (2014). A brief review of strength and ballistic assessment methodologies in sport. *Sports Medicine*, 44, 603-623.

McMaster, D. T., Gill, N. D., Cronin, J. B., & McGuigan, M. R. (2013). Is wireless accelerometry a viable measurement system for assessing vertical jump performance? *Sports Technology*, 6, 86-96.

Meylan, C. M., Nosaka, K., Green, J. P., & Cronin, J. B. (2010). Variability and influence of eccentric kinematics on unilateral vertical, horizontal, and lateral countermovement jump performance. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 24, 840-845.

Mitchell, L. J., Argus, C. K., Taylor, K.-L., Sheppard, J. M., & Chapman, D. W. (2017). The Effect of Initial Knee Angle on

Concentric-Only Squat Jump Performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 88, 184-192.

Moran, K. A., & Wallace, E. S. (2007). Eccentric loading and range of knee joint motion effects on performance enhancement in vertical jumping. *Human Movement Science*, 26, 824-840.

Moreno-Pérez, V., Lopez-Valenciano, A., Barbado, D., Moreside, J., Elvira, J., & Vera-Garcia, F. (2017). Comparisons of hip strength and countermovement jump height in elite tennis players with and without acute history of groin injuries. *Musculoskeletal Science and Practice*, 29, 144-149.

Morin, J.-B., & Samozino, P. (2016). Interpreting power-force-velocity profiles for individualized and specific training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11, 267-272.

Moss, S. L., McWhannell, N., Michalsik, L. B., & Twist, C. (2015). Anthropometric and physical performance characteristics of top-elite, elite and non-elite youth female team handball players. *Journal of Sports Sciences*, 33, 1780-1789.

Naczki, M., Naczki, A., Brzenczek-Owczarzak, W., Arlet, J., & Adach, Z. (2016). Impact of inertial training on strength and power performance in young active men. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 30, 2107-2113.

- Núñez Sanchez, F. J., & de Villarreal, E. S. (2017). Does Flywheel Paradigm Training Improve Muscle Volume and Force? A Meta-analysis. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 31, 3177-3186.
- Nuzzo, J. L., Anning, J. H., & Scharfenberg, J. M. (2011). The reliability of three devices used for measuring vertical jump height. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 25, 2580-2590.
- Nuzzo, J. L., McBride, J. M., Cormie, P., & McCaulley, G. O. (2008). Relationship between countermovement jump performance and multijoint isometric and dynamic tests of strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22, 699-707.
- Orr, R., Pope, R., Peterson, S., Hinton, B., & Stierli, M. (2016). Leg power as an indicator of risk of injury or illness in police recruits. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13, 237.
- Otto III, W. H., Coburn, J. W., Brown, L. E., & Spiering, B. A. (2012). Effects of weightlifting vs. kettlebell training on vertical jump, strength, and body composition. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 26, 1199-1202.
- Owens, B. D., Cameron, K. L., Duffey, M. L., Vargas, D., Duffey, M. J., Mountcastle, S. B., . . . Nelson, B. J. (2013). Military

movement training program improves jump-landing mechanics associated with anterior cruciate ligament injury risk. *Journal of Surgical Orthopaedic Advances*, 22, 66-70.

Palmer, T. B., Followay, B. N., & Thompson, B. J. (2017). Age-related effects on maximal and rapid hamstrings/quadriceps strength capacities and vertical jump power in young and older females. *Aging Clinical and Experimental Research*, 29, 1231-1239.

Perez-Gomez, J., & Calbet, J. (2013). Training methods to improve vertical jump performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 53, 339-357.

Picerno, P., Camomilla, V., & Capranica, L. (2011). Countermovement jump performance assessment using a wearable 3D inertial measurement unit. *Journal of Sports Sciences*, 29, 139-146.

Rassier, D. E., Herzog, W., Wakeling, J., & Syme, D. A. (2003). Stretch-induced, steady-state force enhancement in single skeletal muscle fibers exceeds the isometric force at optimum fiber length. *Journal of Biomechanics*, 36, 1309-1316.

Requena, B., Garcia, I., Requena, F., Bressel, E., Saez-Saez de Villarreal, E., & Cronin, J. (2014). Association between traditional standing vertical jumps and a soccer-specific

vertical jump. *European Journal of Sport Science*, 14(sup1), S398-S405.

Riddiford-Harland, D. L., Steele, J. R., & Baur, L. A. (2006). Upper and lower limb functionality: are these compromised in obese children? *International Journal of Pediatric Obesity*, 1, 42-49.

Roberts, T. J., & Konow, N. (2013). How tendons buffer energy dissipation by muscle. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 41, 186-193.

Rodríguez-Rosell, D., Mora-Custodio, R., Franco-Márquez, F., Yáñez-García, J. M., & González-Badillo, J. J. (2017). Traditional vs. Sport-Specific Vertical Jump Tests: Reliability, Validity, and Relationship With the Legs Strength and Sprint Performance in Adult and Teen Soccer and Basketball Players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 31, 196-206.

Rubio-Arias, J. Á., Ramos-Campo, D. J., Esteban, P., Martínez, F., & Jiménez, J. F. (2017). Effect of 6-weeks WBVT on the behaviour of the lower limb muscle fibres during vertical jumping. *Journal of Sports Sciences*, 36, 398-406.

Salles, A. S., Baltzopoulos, V., & Rittweger, J. (2011). Differential effects of countermovement magnitude and volitional

effort on vertical jumping. *European Journal of Applied Physiology*, 111, 441-448.

Samozino, P., Morin, J.-B., Hintzy, F., & Belli, A. (2008). A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump. *Journal of Biomechanics*, 41, 2940-2945.

Sanchez-Medina, L., & González-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43, 1725-1734.

Sheppard, J. M., Cronin, J. B., Gabbett, T. J., McGuigan, M. R., Etxebarria, N., & Newton, R. U. (2008). Relative importance of strength, power, and anthropometric measures to jump performance of elite volleyball players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 22, 758-765.

Shin, S., Lee, K., & Song, C. (2015). Acute effects of unilateral whole body vibration training on single leg vertical jump height and symmetry in healthy men. *Journal of Physical Therapy Science*, 27, 3923-3928.

South, M. A., Layne, A. S., Stuart, C. A., Triplett, N. T., Ramsey, M., Howell, M. E., . . . Kavanaugh, A. A. (2016). Effects of Short-Term Free-Weight and Semiblock Periodization Resistance Training on Metabolic Syndrome. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 30, 2682-2696.

- Sperlich, P. F., Behringer, M., & Mester, J. (2016). The effects of resistance training interventions on vertical jump performance in basketball players: a meta-analysis. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 56, 874-883.
- Stojanović, E., Ristić, V., McMaster, D. T., & Milanović, Z. (2017). Effect of Plyometric Training on Vertical Jump Performance in Female Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 47, 975-986.
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer. *Sports Medicine*, 35, 501-536.
- Street, G., McMillan, S., Board, W., Rasmussen, M., & Heneghan, J. M. (2001). Sources of error in determining countermovement jump height with the impulse method. *Journal of Applied Biomechanics*, 17, 43-54.
- Suarez-Arrones, L. Nunez, J., Saez de Villareal, E., Galvez, J., Suarez-Sanchez, G., & Munguia-Izquierdo, D. (2016). Repeated-High-Intensity-Running Activity and Internal Training Load of Elite Rugby Sevens Players During International Matches: A Comparison Between Halves. *International Journal of sports Physiology and Performance*, 11, 495-499.
- Suarez-Arrones, L., Núñez, J., Munguía-Izquierdo, D., Portillo, J., & Mendez-Villanueva, A. (2013). Impact of several matches in a day on physical performance in rugby sevens referees.



*International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8, 496-501.

Thomas, C., Comfort, P., Dos Santos, T., & Jones, P. A. (2017). Determining bilateral strength imbalances in youth basketball athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 38, 683-690.

Tillin, N. A., Pain, M. T. G., & Folland, J. (2013). Explosive force production during isometric squats correlates with athletic performance in rugby union players. *Journal of Sports Sciences*, 31, 66-76.

Torres-Unda, J., Zarrazquin, I., Gil, J., Ruiz, F., Irazusta, A., Kortajarena, M., . . . Irazusta, J. (2013). Anthropometric, physiological and maturational characteristics in selected elite and non-elite male adolescent basketball players. *Journal of Sports Sciences*, 31, 196-203.

Toumi, H., Best, T., Martin, A., F'Guyer, S., & Poumarat, G. (2004). Effects of eccentric phase velocity of plyometric training on the vertical jump. *International Journal of Sports Medicine*, 25, 391-398.

Tran, T. T., Brown, L. E., Coburn, J. W., Lynn, S. K., Dabbs, N. C., Schick, M. K., . . . Noffal, G. J. (2011). Effects of different elastic cord assistance levels on vertical jump. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 25, 3472-3478.

- Ugrinowitsch, C., Tricoli, V., Rodacki, A. L., Batista, M., & Ricard, M. D. (2007). Influence of training background on jumping height. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21, 848-852.
- Van Hooren, B., & Zolotarjova, J. (2017). The Difference Between Countermovement and Squat Jump Performance: A Review of Underlying Mechanisms with Practical Applications. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 31, 2011-2020.
- Vetter, R. E. (2007). Effects of six warm-up protocols on sprint and jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21, 819-823.
- Vicens-Bordas, J., Esteve, E., Fort-Vanmeerhaeghe, A., Bandholm, T., & Thorborg, K. (2017). Is inertial flywheel resistance training superior to gravity-dependent resistance training in improving muscle strength? A systematic review with meta-analyses. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21, 75-83.
- Vint, P. F., & Hinrichs, R. N. (1996). Differences between one-foot and two-foot vertical jump performances. *Journal of Applied Biomechanics*, 12, 338-358.
- Walshe, A. D., Wilson, G., & Murphy, A. (1996). The validity and reliability of a test of lower body musculotendinous

stiffness. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 73, 332-339.

Wang, H.-K., Un, C.-P., Lin, K.-H., Chang, E.-C., Shiang, T.-Y., & Su, S.-C. (2014). Effect of a combination of whole-body vibration and low resistance jump training on neural adaptation. *Research in Sports Medicine*, 22, 161-171.

Ziv, G., & Lidor, R. (2009). Physical attributes, physiological characteristics, on-court performances and nutritional strategies of female and male basketball players. *Sports Medicine*, 39, 547-568.





ANEXOS



Sánchez-Sixto, A.; Harrison, A.J. y Floría, P. (201x) La importancia de la profundidad del contramovimiento en el ciclo estiramiento-acortamiento / Importance of Countermovement Depth in Stretching and Shortening Cycle Analysis. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. (\*) pp. \*. [Http://cdeporte.rediris.es/revista/\\_\\_\\_\\_](http://cdeporte.rediris.es/revista/____)\*

## ORIGINAL

# LA IMPORTANCIA DE LA PROFUNDIDAD DEL CONTRAMOVIMIENTO EN EL CICLO ESTIRAMIENTO-ACORTAMIENTO

## IMPORTANCE OF COUNTERMOVEMENT DEPTH IN STRETCHING AND SHORTENING CYCLE ANALYSIS

Sánchez-Sixto, A.<sup>1</sup>; Harrison, A.J.<sup>2</sup>; Floría, P.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Doctorando en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Departamento de Deporte. Centro de Estudios Universitarios Cardenal Spínola CEU. Bormujos (España) [asanchezsixto@ceuandalucia.es](mailto:asanchezsixto@ceuandalucia.es)

<sup>2</sup> Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Physical Education & Sport Sciences. University of Limerick. Limerick (Irlanda) [Drew.Harrison@ul.ie](mailto:Drew.Harrison@ul.ie)

<sup>3</sup> Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Departamento de Deporte e Informática. Universidad Pablo de Olavide. Sevilla (España) [pfloriam@upo.es](mailto:pfloriam@upo.es)

Spanish-English translator: Andrew J Harrison, [drew.harrison@ul.ie](mailto:drew.harrison@ul.ie)

Código UNESCO / UNESCO CODE: 2406.04 Biomecánica / Biomechanics

Clasificación del Consejo de Europa / Council of Europe Classification: 3. Biomecánica del deporte / Biomechanics of sport

Recibido 7 de abril de 2017 Received April 7, 2017

Aceptado 11 de septiembre de 2017 Accepted September 11, 2017

### ABSTRACT

The aim of this investigation was to determine the influences of force application related variables and center of mass displacement on jump height differences between squat jump (SJ) and countermovement jump (CMJ). Twenty six males performed three squat jumps and three countermovement jumps with a 90° knee flexion. The center of mass displacement during the upward movement phase and the average force were significantly greater in CMJ than in SJ. Both variables explained 75% of the differences in the flight height, having 30% more influence on the center of mass displacement. There were no differences in peak force. The results of this research suggest the need to examine the center of mass displacement during SJ and CMJ when a 90° of knee flexion criteria is established.

**KEY WORDS:** Biomechanics, Jump, Kinetics, Kinematics.

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar la influencia de las variables relacionadas con la aplicación de fuerza y el desplazamiento del centro de masas en las diferencias en la altura saltada entre el salto sin contramovimiento (SJ) y el salto con contramovimiento (CMJ). Participaron veintiséis hombres, realizando tres SJ y tres CMJ con 90° de flexión de rodilla. El desplazamiento del centro de masas y la fuerza media durante la fase de propulsión fueron significativamente superiores en el CMJ en comparación con el SJ, explicando el 75% de la diferencia entre los dos saltos y teniendo un 30% más de influencia el desplazamiento del centro de masas. No hubo diferencias en la fuerza máxima. Los resultados sugieren la necesidad de examinar el desplazamiento del centro de masas para interpretar adecuadamente las diferencias entre el SJ y el CMJ cuando el criterio establecido es 90° de flexión de rodilla.

**PALABRAS CLAVE:** Biomecánica, Salto, Cinética, Cinemática.

## INTRODUCCIÓN

The jump height difference between a squat jump (SJ) and a countermovement jump (CMJ) is the principal variable frequently used by researchers and coaches to evaluate stretch-shortening cycle (SSC) function (Castagna & Castellini, 2013; Yang, Chou, Chen, Shiang, & Liu, 2014). Generally, jump height is greater in the CMJ than the SJ and this performance difference has been attributed to the muscle's ability to produce greater work and power after a counter-movement action (Bobbert, Gerritsen, Litjens, & Van Soest, 1996). As mechanical work is the product of force and displacement of the center of mass, researchers have analyzed the influence of both parameters on the jump height contribution (Kirby, McBride, Haines, & Dayne, 2011).

Force analysis has been used extensively to examine differences in performance between jumps (Cormie, McBride, & McCaulley, 2009; Feltner, Bishop, & Perez, 2004; González-Badillo & Marques, 2010; Kirby et al., 2011; Nuzzo, McBride, Cormie, & McCaulley, 2008). Some research has shown that the peak force during the jump influences jump height (Cormie et al., 2009; González-Badillo & Marques, 2010) but, other studies have shown an inconsistent relationship between these variables (Kirby et al., 2011; Salles, Baltzopoulos, & Rittweger, 2011). While the average force has not been widely used by coaches and researchers to assess the vertical jump height, it has been used to examine the differences in performance between jumps (Feltner et al., 2004). In addition, a high initial force at the onset of the upward movement phase which results in increased work done during that phase, can be related to higher vertical jump performance (Bobbert et al., 1996).



The role of center of mass displacement during jumping has been extensively investigated (Kirby et al., 2011; Salles et al., 2011). Increasing the range of motion of the center of mass during force application may increase the net impulse during the concentric phase and thereby improve take-off velocity (Alexander, 1995; Bobbert, Casius, Sijpkens, & Jaspers, 2008; Samozino, Morin, Hintzy, & Belli, 2010). It is well established that highly trained athletes achieve larger center of mass displacements in the upward movement phase and attain higher jump heights in comparison with untrained individuals (Ugrinowitsch, Tricoli, Rodacki, Batista, & Ricard, 2007). Due to this influence of center of mass displacement on jump performance, coaches and researchers often control the angle of knee flexion during the SJ and CMJ tests (Hébert-Losier, Jensen, & Holmberg, 2014; Lloyd, Oliver, Hughes, & Williams, 2011). Despite this, differences in center of mass displacement may appear because of the influence of other segment movements (Kopper, Ureczky, & Tihanyi, 2012). Therefore, it is important to determine whether potential differences in the displacement of the center of mass during the execution of SJ and CMJ may explain the performance differences between the two jumps.

When coaches and strength and conditioning professionals estimate the SSC function through the jump height difference between the SJ and CMJ, various parameters related to either force applied or displacement of the center of mass may influence the result (Bobbert et al., 2008). However, it is not clear which of these parameters has greater influence on the difference in jumping performance between the types of jump. This knowledge can help researchers and coaches to understand the role of each parameter on vertical jump performance. Consequently, the aim of this investigation was to determine the influences of force application related variables and center of mass displacement on jump height differences between SJ and CMJ.

## **MATERIAL AND METHODS**

### **PARTICIPANTS**

Twenty six active males participated in this investigation (age:  $20.62 \pm 3.46$  years, height:  $1.79 \pm 0.06$  m and body mass:  $74.60 \pm 6.14$  kg). No participants had any musculoskeletal injury or nervous system dysfunction within 6 months before participation. The study had ethical approval from the local University Research Ethics Committee and all the participants provided informed consent before participation. The data of the present investigation were anonymized and saved according to the protection data laws.

### **PROCEDURES**

Participants were instructed to perform vertical jumps with a countermovement (CMJ) and without a countermovement (SJ) on a force plate (Quattro Jump, Kistler Instrument AG, Winterthur, Switzerland) sampling vertical force at 500 Hz. Before the test, all participants performed 10 minutes of general warm up activity including, 2 minutes of low-intensity aerobic exercise, dynamic

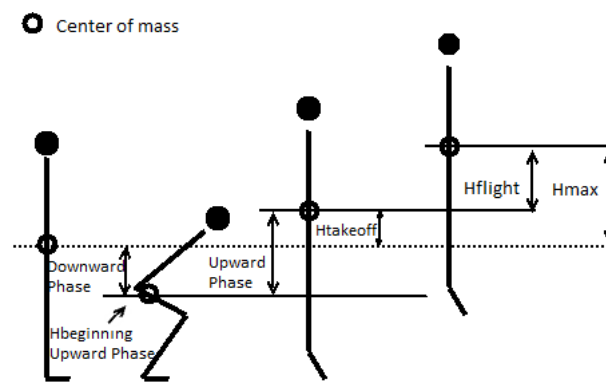
stretching exercises and one set of 6, sub-maximal jumps (Vetter, 2007). These 6 jumps were used as a familiarization session. Since all participants were physically active and regularly performed activities including jumping, a short familiarization session was sufficient to ensure the participants could complete the jumping tasks. After the warm up, the participants were requested to perform 3 maximum-effort SJ and 3 maximum-effort CMJ in a randomized order. The instructions for each participant were standardized and the importance of jumping as high as possible was emphasized. The participants retained the arms akimbo position until the landing phase during both jumps. They also were instructed to keep their feet on the floor during the countermovement phase. For the SJ test, the participants flexed their knees slowly to 90°. They were instructed to hold this position for 2 s before jumping for maximum height without prior countermovement. For the CMJ, participants started from an upright standing position the dynamically reached a knee angle of 90° and executed an immediate vertical (Hébert-Losier et al., 2014; Lloyd et al., 2011). The researchers controlled every attempt and when an incorrect execution occurred, the participants repeated the attempt. Three successful jumps were recorded for each jump type and at least 2 minutes rest was allowed between jumps.

## ANALYSIS

The best of three trials, in terms of jump height, was selected for analysis. Force-plate computer software (QuattroJump, Type 2822A1-1, Version 1.0.9.2) was utilized to record the force values and calculate the maximum jump using the impulse method (Linthorne, 2001). Net impulse was obtained by integrating the net vertical force with respect to time, from 2 s prior to the first movement of the participant (Street et al., 2001), using the trapezoidal method (Street, McMillan, Board, Rasmussen, & Heneghan, 2001), using the trapezoidal method (Kibele, 1998). Subsequently, the center of mass vertical velocity was calculated by dividing the net impulse by the participant's body mass. The vertical center of mass displacement was derived by integrating the vertical center of mass velocity. Finally, work done during the jump was calculated by multiplying the force by the center of mass displacement. While work done is precisely determined as force multiplied by the distance moved by the point of application of force, the product of ground reaction force and displacement of the center of mass provides a good estimate of work done on the center of mass during the jump (Street et al., 2001). In order to exclude the influence of weight on scores, all variables quantifying force were normalized to body weight (BW).

Several performance parameters were determined during the upward movement phase, which was defined from the instant of zero velocity of center of mass to take-off. The instant of take-off was defined as the first intersection of vertical ground reaction force within an offset threshold. The threshold was determined by adding the average flight time and the peak residual of the offset (Street et al., 2001).

Maximal height, flight height, height at take-off and height at the beginning of upward movement phase (crouch position) were identified by visual inspection of the displacement data (Figure 1). Center of mass displacement during upward movement phase was calculated by subtracting height values between the start of the upward movement phase and take-off instant. Peak force was measured as the maximum force value reached during the upward movement phase. Average force was calculated during the upward movement phase. Force at the beginning of the upward movement phase was the force at the beginning of the upward movement phase.



**Figure 1.** Center of mass displacement variables

## STATISTICAL ANALYSIS

Statistical analyses were conducted using SPSS 18.0 software. Means and standard deviations for each participant were computed for all the measured variables. Normality of the data-sets was verified using the Shapiro-Wilk test. If the data were normally distributed, a repeated-measures t-test was used to evaluate the differences in measures between SJ and CMJ conditions. If the data were not normally distributed, then a Wilcoxon test was used. Significance level was set at  $P < 0.05$ . The magnitude of the differences between the jumps was expressed as a standardized mean effect size (i.e. Cohen's  $d_z$ ). The criteria to interpret the magnitude of the effect size were: trivial = 0.00 – 0.19, small = 0.20 – 0.59, moderate = 0.60 – 1.20 and high  $> 1.20$  (Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009).

Stepwise (backward) multiple regression analyses were used to determine which parameters significantly predict height difference between the SJ and CMJ. The independent variables were: center of mass displacement difference between the SJ and CMJ, force at the beginning of the upward movement difference between the SJ and CMJ, peak force difference between the SJ and CMJ and average force differences between both jumps. The dependent variable was the difference in maximum vertical flight height between the SJ and CMJ. Finally, the standard beta-coefficients were used to estimate the influence of each of the independent variables on the dependent variable.

## RESULTS

Mean scores and standard deviation (mean  $\pm$  SD) for each variable during SJ and CMJ, are presented in Table 1. (Insert Table 1 here) The results show that jumping performance increased by 15% when using a CMJ and this change was a moderate effect size. There was no difference in height at take-off between the SJ and the CMJ, but there were significant differences in flight height between jump conditions, with a large effect size. During the upward movement phase, the work produced was higher in the CMJ than in the SJ, resulting in a high effect size. There were significant differences between jump types in the variables related to center of mass position. These differences were observed during the upward movement phase and in vertical height of the center of mass in the crouch position. The results show that the upward movement phase in the CMJ began from a deeper crouch position in comparison to the SJ, thereby increasing the vertical displacement of center of mass in the upward movement phase of the CMJ compared to the SJ. In force application related parameters, there were significant differences in the average force and initial force variables; obtaining higher values in the CMJ. However no differences in peak force values were observed.

**Table 1.** Results (mean  $\pm$  SD) of upward phase variables.

Variables	SJ	CMJ	Effect size
$h_{\max}$ (m)	$0,41 \pm 0,07$	$0,47 \pm 0,06^*$	0,85
$H_{\text{flight}}$ (m)	$0,28 \pm 0,05$	$0,33 \pm 0,05^*$	1,29
$H_{\text{takeoff}}$ (m)	$0,13 \pm 0,04$	$0,14 \pm 0,03$	0,12
$W$ (J·kg <sup>-1</sup> )	$2,93 \pm 0,50$	$3,41 \pm 0,55^*$	1,27
$F_{\text{average}}$ (BW)	$1,95 \pm 0,21$	$2,05 \pm 0,15^*$	0,53
$F_{\text{inicial}}$ (BW)	$1,00 \pm 0,00$	$2,44 \pm 0,22^*$	6,64
$F_{\max}$ (BW)	$2,52 \pm 0,24$	$2,52 \pm 0,20$	-0,01
$D_{\text{upward}}$ (m)	$0,35 \pm 0,05$	$0,42 \pm 0,03^*$	1,55
Crouch (m)	$-0,22 \pm 0,07$	$-0,28 \pm 0,04^*$	0,82

Note:  $H_{\max}$  = maximal height,  $H_{\text{flight}}$  = flight height,  $H_{\text{takeoff}}$  = take-off height,  $W$  = work,  $F_{\text{average}}$  = average force,  $F_{\text{inicial}}$  = force at the beginning of upward movement phase,  $F_{\max}$  = peak force,  $D_{\text{upward}}$  = displacement of the upward movement phase, Crouch = crouch position.

\* $P < 0,05$ .

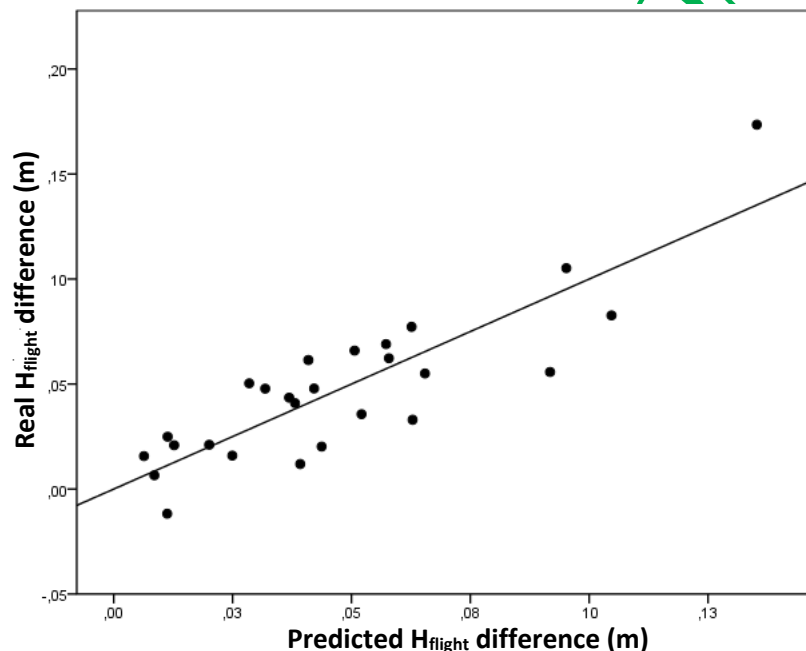
The results of the multiple regression analysis showed a strong relationship between the flight height difference between SJ and CMJ and the differences in center of mass displacement and average forces between both jumps (Table 2). The flight height differences between SJ and CMJ were associated with greater propulsion distance ( $P < 0.001$ ) and higher average force ( $P < 0.001$ ) in the CMJ and both variables explained a large percentage (75%) of variance (Figure 2). Of these parameters, the difference in displacement during the upward

movement phase between CMJ and SJ had the greatest influence on the height differences, with average force having 30% less influence.

**Table 2.** Multiple regression to predict the influence of variables related to displacement and force application on flight height changes between SJ and CMJ.

Independent variables	Non-standardised coefficients	Standard error	Beta standardised coefficients	t-value
	B			
$R^2 = 0,745$ , $F = 33,96^*$				
(Constant)	-0,019	0,009		2,083
$\Delta D_{\text{upward}}$	0,795	0,103	0,901	7,750*
$\Delta F_{\text{av}}$	0,146	0,024	0,702	5,943*

$\Delta D_{\text{upward}}$ : displacement differences during concentric phase between SJ and CMJ.  $\Delta F_{\text{av}}$ : average force differences between SJ and CMJ. \*indicates  $P < 0,01$



**Figure 2.** Dispersion diagram of the relationship between the real difference of flight height ( $H_{\text{flight}}$ ) and expected between SJ and CMJ.

## DISCUSSION

The purpose of this investigation was to determine the influences of force application related parameters and center of mass displacement on changes in jump height between SJ and CMJ. The increment on flight height between SJ and CMJ was explained 75% of the differences on center of mass displacement and average force between the two types of jump. The vertical displacement of center of mass had the greatest influence in determining the difference in flight height between SJ and CMJ. The take-off positions were similar in both jumps; therefore the results showed that when examining the differences between SJ and CMJ, an upward movement from a deeper crouch position had 28% more



influence than the differences in the forces applied. These results concur with previous studies which found that vertical jump performance can be enhanced by a large increase in the displacement of the center of mass during the upward phase (Kirby et al., 2011; Salles et al., 2011). In the current study, the differences in center of mass displacement between the jumps were small but the variance of the difference in jump height between SJ and CMJ explained by this displacement was large. For this reason, a large increase in the displacement of the center of mass is not required to improve vertical jump performance because small increments may further explain the differences in performance between both jumps (Sánchez-Sixto, Harrison, & Floria, 2016). In addition, previous investigations found a statistically significant relationship between the jump height and the center of mass displacement (Barker, Harry, & Mercer, 2017). This suggests a need to pay close attention to the way the SJ and CMJ are executed when they are used to evaluate the SSC effectiveness. Coaches and strength and conditioning professionals often use a criterion of 90° knee flexion to standardize the SJ and CMJ (Hébert-Losier et al., 2014; Lloyd et al., 2011). The results of this study suggest that this approach may not be sufficient to ensure similar displacements of the center of mass in both jumps. It is likely that other body segments with a larger mass, such as the trunk, can influence the position of the center of mass (Kopper et al., 2012). This may cause small differences in the path of the center of mass which ultimately affect the performance differences between both jump types. Consequently, there is a need to look for further methods to provide a consistent and reproducible protocol to evaluate the effectiveness SSC and decrease the influence of the technique used by the athlete.

The average force during the upward movement showed significant differences between SJ and CMJ and this was the only force application related parameter which determined the jump height difference between SJ and CMJ. However, no relationships were found between the average force and the jump height in a previous investigations (Barker et al., 2017), other studies showed the average force as a determinant of performance in the vertical jump (Feltner et al., 2004). As average force is derived from a large number of data points, the information obtained by the average force could be more representative of the complete movement than other instantaneous variables. Any instantaneous force variable extracted from the continuous force-time signal discards a large amount of potentially important data which may be useful to evaluate the performance. However, peak force is one of the most analyzed instantaneous variables (Cornie et al., 2009; Kirby et al., 2011; Nuzzo et al., 2008; Salles et al., 2011), but in the present study, peak force did not differ between the SJ and the CMJ although CMJ performance was higher. Our findings are consistent with other studies which found no relationship between peak force and vertical jump performance (Kirby et al., 2011; Nuzzo et al., 2008). It is possible that the deeper crouch position achieved in the CMJ resulted in a lower peak force which is consistent with previous studies that showed lower peak force when larger center of mass displacements were performed (Kirby et al., 2011; Markovic, Mirkov, Knezevic, & Jaric, 2013; Salles et al., 2011). Therefore, the peak force does not appear to adequately discriminate the performance

differences between SJ and CMJ. As it was expected, the force at the beginning of the upward movement phase showed significant differences between the jumps. At SJ the force at the beginning of the upward phase must be identical as BW, while at CMJ this force should be higher due to the braking action during the downward phase. The force at the beginning of upward movement phase has been described as an important factor in determining differences between SJ and CMJ (Bobbert et al., 1996). It is suggested that this should increase the net impulse generated during the upward movement and consequently enhance the take-off velocity of the center of mass (Kirby et al., 2011). However, at the present investigation, participants with higher initial force values were not the participant that achieved a higher jump height. In addition, a recent study did not found a relationship between the force at the beginning of the upward movement phase and the jump height (Barker et al., 2017). Future studies should examine the role of force at the beginning of the upward movement phase controlling the center of mass displacement, due to the possible relevance in the vertical jump performance.

## CONCLUSION

This study demonstrated the important role of center of mass displacement in the analysis of SSC through the SJ and CMJ. The 90° knee angle flexion criteria appear insufficient in order to guarantee a similar displacement of the center of mass between both jumps. The influence of the center of mass displacement was the most important variable explaining the differences between the SJ and CMJ. For that reason, in order to evaluate the SSC through the SJ and CMJ, the control of the countermovement depth is necessary. Finally, peak force and force at the beginning of the upward movement phase did not predict the jump height performance, whereas the average force at this phase was the force applied variables which explain a higher percent of the differences between the CMJ and the SJ.

## REFERENCES

- Alexander, R. M. (1995). Leg design and jumping technique for humans, other vertebrates and insects. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 347, 235-248.
- Barker, L. A., Harry, J. R., & Mercer, J. A. (in press). Relationships Between Countermovement Jump Ground Reaction Forces and Jump Height, Reactive Strength Index, and Jump Time. *Journal of Strength & Conditioning Research*.
- Bobbert, M. F., Casius, L. R., Sijpkens, I. W., & Jaspers, R. T. (2008). Humans adjust control to initial squat depth in vertical squat jumping. *Journal of Applied Physiology*, 105, 1428-1440.
- Bobbert, M. F., Gerritsen, K. G., Litjens, M. C., & Van Soest, A. J. (1996). Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28, 1402-1412.

- Castagna, C., & Castellini, E. (2013). Vertical jump performance in Italian male and female national team soccer players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 27, 1156-1161.
- Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2009). Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: impact of training. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 23, 177-186.
- Feltner, M. E., Bishop, E. J., & Perez, C. M. (2004). Segmental and kinetic contributions in vertical jumps performed with and without an arm swing. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 75, 216-230.
- González-Badillo, J. J., & Marques, M. C. (2010). Relationship between kinematic factors and countermovement jump height in trained track and field athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 24, 3443-3447.
- Hébert-Losier, K., Jensen, K., & Holmberg, H. C. (2014). Jumping and hopping in elite and amateur orienteering athletes and correlations to sprinting and running. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9, 993-999.
- Hopkins, W., Marshall, S., Batterham, A., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41, 3.
- Kibele, A. (1998). Possibilities and limitations in the biomechanical analysis of countermovement jumps: A methodological study. *Journal of Applied Biomechanics*, 14, 105-117.
- Kirby, T. J., McBride, J. M., Haines, T. L., & Dayne, A. M. (2011). Relative net vertical impulse determines jumping performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 27, 207-214.
- Kopper, B., Ureczky, D., & Tihanyi, J. (2012). Trunk position influences joint activation pattern and physical performance during vertical jumping. *Acta Physiologica Hungarica*, 99, 194-205.
- Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69, 1198-1204.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2011). The influence of chronological age on periods of accelerated adaptation of stretch-shortening cycle performance in pre and postpubescent boys. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25, 1889-1897.
- Markovic, S., Mirkov, D. M., Knezevic, O. M., & Jaric, S. (2013). Jump training with different loads: effects on jumping performance and power output. *European Journal of Applied Physiology*, 113, 2511-2521.
- Nuzzo, J. L., McBride, J. M., Cormie, P., & McCaulley, G. O. (2008). Relationship between countermovement jump performance and multijoint isometric and dynamic tests of strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22, 699-707.
- Salles, A. S., Baltzopoulos, V., & Rittweger, J. (2011). Differential effects of countermovement magnitude and volitional effort on vertical jumping. *European Journal of Applied Physiology*, 111, 441-448.



- Samozino, P., Morin, J.-B., Hintzy, F., & Belli, A. (2010). Jumping ability: a theoretical integrative approach. *Journal of Theoretical Biology*, 264, 11-18.
- Sánchez-Sixto, A., Harrison, A., & Floría, P. (2016). Simple instructions on the crouch position improve performance in the countermovement jump. 34 *International Conference on Biomechanics in Sports*, 949-952.
- Street, G., McMillan, S., Board, W., Rasmussen, M., & Heneghan, J. M. (2001). Sources of error in determining countermovement jump height with the impulse method. *Journal of Applied Biomechanics*, 17, 43-54.
- Ugrinowitsch, C., Tricoli, V., Rodacki, A. L., Batista, M., & Ricard, M. D. (2007). Influence of training background on jumping height. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21, 848-852.
- Vetter, R. E. (2007). Effects of six warm-up protocols on sprint and jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21, 819-823.
- Yang, W. W., Chou, L. W., Chen, W. H., Shiang, T. Y., & Liu, C. (in press). Dual-frequency whole body vibration enhances vertical jumping and change-of-direction ability in rugby players. *Journal of Sport and Health Science*.

**Número de citas totales / Total references: 24 (100%)**

**Número de citas propias de la revista / Journal's own references: 0 (0%)**

## **Simple instructions on the crouch position improve performance in the countermovement jump**

**Alberto Sánchez-Sixto<sup>1</sup>, Andrew J. Harrison<sup>2</sup> and Pablo Floría<sup>3</sup>**

**Department of Sports, CEU San Pablo University, Seville, Spain<sup>1</sup>**

**Biomechanics Research Unit, University of Limerick, Limerick, Ireland<sup>2</sup>**

**Department of Sports and Computer Science, Pablo de Olavide University, Seville, Spain<sup>3</sup>**

The purpose of this study was to determine how simple instructions that modify the depth of countermovement lead to changes in the jump height and the biomechanical parameters related to centre of mass displacement and force application. Twenty-nine active males participated in this investigation and they performed three countermovement jumps using a self-selected crouch position, three countermovement jumps with a deeper crouch position and three countermovement jumps with a shallower crouch position in random order. The results of this study suggest that it is possible to improve the jump performance in amateur competitive males with slight modification of the centre of mass displacement having the same physical condition level without any training intervention.

**KEY WORDS:** Biomechanics, performance, center of mass displacement, force.

**INTRODUCTION:** The vertical jump is one of the most common skills and numerous studies have examined the biomechanical parameters related to increases in jump height (González-Badillo & Marques, 2010; Kirby, McBride, Haines, & Dayne, 2011). The net vertical impulse relative to body mass has been shown to determine jump height (Kirby et al., 2011). The impulse represents the interaction between the vertical force applied and the time over which it is applied (McBride, McCaulley, & Cormie, 2008). Any change in vertical impulse is dependent on changes in either force or time. Therefore, athletes have two ways for improving the jump performance; increasing the force applied or the time over the athlete produces force.

In practice, the duration of force application can only be increased by increasing the centre of mass displacement during the countermovement because athletes seek to apply high forces as quickly as possible to achieve their maximum jump height (González-Badillo & Marques, 2010). Previous studies have analysed how changes in the depth of countermovement affect vertical jump performance and observed that increasing the displacement of the centre of mass over countermovement in unskilled jumpers increase jump height (Bobbert, Casius, Sijpkens, & Jaspers, 2008; Kirby et al., 2011; Le Pellec & Maton, 2002; Salles, Baltzopoulos, & Rittweger, 2011). However, non-significant differences in jump height were found between the preferred and the deeper jump depth (Kirby et al., 2011; Mandic, Jakovljevic, & Jaric, 2015; Salles et al., 2011). In these studies, participants were required to perform jumps from crouch positions which were very different from those commonly performed (Kirby et al., 2011; Salles et al., 2011) or with an elite population (Mandic et al., 2015). Therefore, it remains unclear whether simple instructions which slightly modify the depth of countermovement selected by the athlete can improve jump performance in amateur competitive males. In addition, greater understanding is required on how biomechanical variables can be modified by varying instructions on the countermovement technique. Therefore, the purpose of this study was to determine how simple instructions that modify the depth of countermovement might lead to changes in the jump height and the biomechanical parameters related to centre of mass displacement and force application.

**METHODS:** Twenty nine amateur competitive males participate in this investigation (age:  $22.66 \pm 1.37$  years, height:  $1.75 \pm 0.05$  m and body mass:  $79.79 \pm 12.30$  kg) without any musculoskeletal injury or nervous system dysfunction within 6 months before participation in this study. The study had ethical approval from the local University Research Ethics Committee and all the participants provided informed consent before participation.



Participants were instructed to perform jumps with countermovement on a force plate (Dinascan 600M, IBV, Spain) sampling at 1000 Hz. A practise session was completed before the jumping experiment, during which it was verified that all participants could complete the jumping tasks to a satisfactory level. After the warm up that were performed, the participants were requested to perform 3 countermovement jumps using a self-selected crouch position, 3 countermovement jumps with a deeper crouch position and 3 countermovement jumps with a shallower crouch position in random order. The deep crouch position was identified by the displacement-time data. The displacement data was calculated using the impulse method (Linthorne, 2001). Net impulse was obtained by integrating the net vertical force with respect to time, from 2 s prior to the first movement of the participant, (Street, McMillan, Board, Rasmussen, & Heneghan, 2001) using the trapezoidal method (Kibele, 1998). The vertical centre of mass displacement was derived by integrating the vertical centre of mass velocity. To exclude the influence of weight and height on scores, all variables quantifying force were normalised to body weight (BW) and all variables quantifying displacement were normalized to leg height (LH) (standing height minus sitting height).

The instructions for each participant were standardised and the importance of jumping as high as possible was emphasised. The participants retained the arms akimbo position from the start until the landing phase in the jumps. In every jump, each participant stood upright and stationary for at least 2 seconds before initiating the jump. Three successful jumps were recorded for each jump type, with at least 2 minutes of rest allowed between jumps. The best trial of each type of jump was selected for analysis. The maximum jump height was used to determine the best jump.

The downward movement phase was defined from the instant of start of movement to the instance of the maximum downward displacement position of the centre of mass (i.e. maximum crouch position of the jump). The instant of start of movement was detected by searching forward from the first intersection of vertical ground reaction force within a predefined threshold of 1.75 times the peak residual force during the 2-s BW averaging period. A backwards search was then performed until ground reaction force passed through body weight (Street et al., 2001). The upward movement phase was defined from the instance of the maximum crouch position of centre of mass to take-off. The instant of take-off was defined as the first intersection of vertical ground reaction force within an offset threshold and this threshold was determined by adding the average flight time (i.e., 0.4 seconds) and the peak residual of the offset (Street et al., 2001).

The displacement variables: Maximal height, flight height, height at take-off and height at the beginning of upward phase (crouch position) was calculated by subtracting height values between the start of the upward phase and the take-off instant. The force variables calculated were: Minimum force, initial force, maximum force. Minimum force was measured as the minimum value of force reached during the downward movement phase. Force at the beginning of the upward movement phase was defined as the value of force at the instant of maximum crouch position. Peak force was measured as the maximum value of force reached during the upward phase.

Statistical analyses were conducted using PASW (SPSS, Inc., Chicago, IL). Normality of the 8 dependent variables was verified using the Shapiro-Wilk test. If the data were normally distributed, a general linear model a repeated measures ANOVA test was used, when a significant F-value was found, post hoc pair wise comparisons of means were made using the least significant difference post hoc test. Significance level was set at  $P < 0.05$ , the sequentially rejective Bonferroni (Bonferroni-Holm) post hoc test (Holm, 1979) was used for each group of variables (displacement and force) to adjust the P-level to account for multiple pairwise comparisons of strength measures. Since each participant performed three jumps from each crouch position (preferred, deep and shallow), the trial factor was included as a separate factor in the ANOVA. If the data were not normally distributed, then a Wilcoxon test was used. The magnitude of the differences between the jumps was expressed as a standardised mean effect size (i.e. Cohen's  $d_z$ ). The criteria to interpret the magnitude of the effect size were: trivial = 0.00 – 0.19, small = 0.20 – 0.59, moderate = 0.60 – 1.20 and high > 1.20 (Hopkins, 2004).

**RESULTS:** The normalised mean  $\pm$  SD values for the height and centre of mass displacement variables are presented in Table 1, together with the statistical significance of differences between the jumps. The results show that countermovement depth had a statistically significant effect on jump performance. Several displacement variables were modified when the countermovement depth was manipulated. The flight height and upward displacement were greater with the deeper crouch position compared with the self-selected position ( $P < 0.01$ , effect size  $\geq -0.67$ ). Conversely, when the crouch position was shallower these parameters were lower in comparison with the self-selected countermovement jump ( $P < 0.01$ , effect size  $\geq 0.86$ ). Nevertheless a unique statistically significant difference was found in force variables. The maximum force ( $P \leq 0.001$ , effect size = 1.54) was higher in the shallower jump compared with self-selected countermovement jump.

**Table 1**  
**Results (mean  $\pm$  SD) of height, displacement of center of mass and force variables**

Displacement variables	CMJP	CMJS	CMJD	ES CMJP- CMJS	ES CMJP- CMJD
Jump height (LH)	0.48 $\pm$ 0.08	0.45 $\pm$ 0.06*	0.50 $\pm$ 0.08	0.55	-0.50
Flight height (LH)	0.36 $\pm$ 0.07	0.33 $\pm$ 0.06*	0.37 $\pm$ 0.06#	0.86	-0.67
Take-off height (LH)	0.12 $\pm$ 0.03	0.12 $\pm$ 0.02	0.13 $\pm$ 0.02	0.03	-0.09
Crouch position (LH)	0.32 $\pm$ 0.06	-0.23 $\pm$ 0.05*	-0.43 $\pm$ 0.06#	-2.02	2.47
D <sub>upward</sub> CM (LH)	0.45 $\pm$ 0.06	0.35 $\pm$ 0.05*	0.55 $\pm$ 0.06#	1.90	-2.16
Force variables					
Minimum force (BW)	0.36 $\pm$ 0.22	0.40 $\pm$ 0.23	0.36 $\pm$ 0.18	-0.40	0.03
Initial force (BW)	2.35 $\pm$ 0.29	2.47 $\pm$ 0.35	2.36 $\pm$ 0.31	-0.46	-0.05
Maximum force (BW)	2.44 $\pm$ 0.23	2.81 $\pm$ 0.31*	2.38 $\pm$ 0.28	-1.54	0.32

\* $P < 0.05$  with Holm-Bonferroni sequential correction applied = Significant difference from CMJP and CMJS. # $P < 0.05$  with Holm-Bonferroni sequential correction applied = Significant difference from CMJP and CMJD. Note: CMJP: preferred countermovement jump, CMJS: shallower countermovement jump, CMJD: deeper countermovement jump, ES: effect size. D<sub>upward</sub> CM: vertical center of mass displacement of the upward movement phase.

**DISCUSSION:** The results of this investigation show that simple instructions modifying the countermovement depth have influences on jump performance in these participants. The flight height of vertical jump increased as the countermovement depth increased. Other studies (Kirby et al., 2011; Salles et al., 2011) have found that modifications in the countermovement depth led changes in height jumped although the jump performance was not higher than that achieved in a jump executed with self-selected depth (Kirby et al., 2011; Mandic et al., 2015; McBride et al., 2008). In our study, higher flight heights were achieved when the depth of countermovement was deeper than the self-selected condition. These contrasting findings could be attributed to the type of instructions given to the participants (Kirby et al., 2011; Salles et al., 2011) or the sample (Mandic et al., 2015). Previous studies required participants to adopt specific countermovement depths defined by either precise knee flexion angles or exact vertical displacement of the centre of mass (Kirby et al., 2011; McBride et al., 2008; Salles et al., 2011). It is possible that this could compromise the coordination of the jump in the participants by redirecting their focus on reaching the



prescribed depth rather than jumping as high as possible and retaining a smooth movement pattern.

The present study found higher vertical forces were generated when the countermovement was shallow and not accompanied by an increase in height jump. This suggests that force increases without an optimal range of motion, do not produce improvements in the vertical jump (Kirby et al., 2011). Maximum forces during upward movement were higher in the shallower countermovement jump which achieved a lower height jumped. High levels of maximum force could be explained by the ability of ankle and knee joints to generate higher joint moments at the beginning of the upward movement phase. The results also found higher joint moments when countermovement jumps were performed at 70° compared with 90° knee flexion angle (Moran & Wallace, 2007). For this reason, researchers should be careful in interpreting the forces during the upward movement phase as a performance enhancement because they can be greatly influenced by the depth of the countermovement.

**CONCLUSION:** The results of this study support the hypothesis that it may be possible to improve the jump performance with slight modification of the centre of mass displacement in competitive amateur players having the same physical condition level without any training intervention. This hypothesis should be confirmed by further study with this population and other populations, as well as with prospective studies exploring the training effects of countermovement adjustments.

#### REFERENCES:

- Bobbert, M. F., Casius, L. R., Sijpkens, I. W., & Jaspers, R. T. (2008). Humans adjust control to initial squat depth in vertical squat jumping. *Journal of Applied Physiology*, 105(5), 1428-1440.
- González-Badillo, J. J., & Marques, M. C. (2010). Relationship between kinematic factors and countermovement jump height in trained track and field athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(12), 3443-3447.
- Holm, S. (1979). A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scandinavian journal of statistics*, 65-70.
- Hopkins, W. G. (2004). How to interpret changes in an athletic performance test. *Sportscience*, 8(1), 1-7.
- Kibele, A. (1998). Possibilities and limitations in the biomechanical analysis of countermovement jumps: A methodological study. *Journal of Applied Biomechanics*, 14, 105-117.
- Kirby, T. J., McBride, J. M., Haines, T. L., & Dayne, A. M. (2011). Relative net vertical impulse determines jumping performance. *J Appl Biomech*, 27(3), 207-214.
- Le Pellec, A., & Maton, B. (2002). Initiation of a vertical jump: the human body's upward propulsion depends on control of forward equilibrium. *Neuroscience letters*, 323(3), 183-186.
- Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69(11), 1198-1204.
- Mandic, R., Jakovljevic, S., & Jaric, S. (2015). Effects of countermovement depth on kinematic and kinetic patterns of maximum vertical jumps. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 25(2), 265-272.
- McBride, J. M., McCaulley, G. O., & Cormie, P. (2008). Influence of preactivity and eccentric muscle activity on concentric performance during vertical jumping. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(3), 750-757.
- Moran, K. A., & Wallace, E. S. (2007). Eccentric loading and range of knee joint motion effects on performance enhancement in vertical jumping. *Human movement science*, 26(6), 824-840.
- Salles, A. S., Baltzopoulos, V., & Rittweger, J. (2011). Differential effects of countermovement magnitude and volitional effort on vertical jumping. *European journal of applied physiology*, 111(3), 441-448.
- Street, G., McMillan, S., Board, W., Rasmussen, M., & Heneghan, J. M. (2001). Sources of error in determining countermovement jump height with the impulse method. *Journal of Applied Biomechanics*, 17(1), 43-54.

## Efecto del entrenamiento combinado de fuerza y pliometría en variables biomecánicas del salto vertical en jugadoras de baloncesto

### Effects of combined plyometric and resistance training in biomechanical variables of the vertical jump in basketball players

Alberto Sánchez-Sixto\*, Pablo Floría\*\*

\*CEU Cardenal Spínola, \*\*Universidad Pablo de Olavide

**Resumen.** *Objetivo.* El propósito de la presente investigación fue determinar y comparar el efecto de un entrenamiento combinado de fuerza y pliometría en el rendimiento del salto vertical y en los parámetros de aplicación de fuerza, velocidad y desplazamiento del centro de gravedad durante el salto vertical. *Material y método.* Veinticinco jugadoras de baloncesto participaron en éste estudio y fueron asignadas de forma aleatoria a dos grupos: grupo entrenamiento y grupo control. El grupo de entrenamiento añadió a sus sesiones en pista 2 sesiones por semana de entrenamiento combinado: sentadilla profunda (50-65% de 1 repetición máxima de 3-6 repeticiones) y saltos repetidos (5-7 series de 5 saltos repetidos). El salto con contramovimiento fue medido antes y después de las 6 semanas de entrenamiento. *Resultados.* Mejoras substanciales y probables fueron encontradas en la altura del salto vertical (12.2%). También se hallaron incrementos en la velocidad máxima durante el contramovimiento (14.0%), en la posición de máxima profundidad del centro de gravedad en la fase de bajada (10.9%). Sin embargo, no se encontraron diferencias en la fuerza máxima durante la fase de subida. *Conclusión.* Los resultados de este estudio muestran que el entrenamiento combinado mejora el rendimiento en el salto vertical en jugadoras de baloncesto y modifica el desplazamiento y las velocidades del centro de gravedad.

**Palabras claves:** biomecánica, entrenamiento pliométrico, cinética, cinemática, entrenamiento de fuerza.

**Abstract.** *Purpose.* The purpose of this investigation was determine and compare de effects of a combined plyometric and resistance training in the jump performance and the variables of force applied, velocity and displacement of the center of mass during the countermovement jump. *Material and Method.* Twenty five woman basketball players participated in this study and they were randomized assigned in two groups: a training group (n = 13) and a control group (n = 12). The training group performed 2 sessions per week of a combined plyometric and resistance training: deep squat (55-65% of 1RM of 3-6 repetitions) and jumps (5-7 series of 5 jumps). The countermovement jump was measured before and after 6 weeks of training. *Results.* The jump height showed a substantial increase after the training intervention (12.2%). In addition, the maximum velocity of the center of mass during the downward movement phase showed an increase (14.0). The crouch position was a 10.9% deeper after the training intervention. No differences were found in the force application variables of the countermovement when the training intervention ended. *Conclusion.* The outcomes of this investigation show that the combined training improve the jumping performance in women basketball players and modify the velocity and displacement of the center of mas during the countermovement jump.

**Keywords:** biomechanics, plyometric training, kinetic, kinematic, resistance training.

### Introducción

La mejora en el salto vertical es un objetivo común, tanto para los investigadores como para los entrenadores y preparadores físicos de distintas modalidades deportivas. La posibilidad de saltar más que el oponente puede ser motivo de éxito en competiciones atléticas, así como, una ventaja sobre un oponente en deportes de equipo. Varios métodos de entrenamiento han sido propuestos evaluándose la eficacia que éstos tienen en la mejora del salto vertical (Perez-Gomez & Calbet, 2013). Distintos tipos de entrenamientos: pliométricos, con pesas, con electro-estimulación, han mostrado un efecto positivo en el rendimiento del salto vertical (Fagnani, Giombini, Di Cesare, Pigozzi & Di Salvo, 2006; Kotzamanidis, 2006; Matavulj, Kukolj, Ugarkovic, Tihanyi & Jaric, 2001; Pareja Blanco, et al., 2016; Rodríguez-Rosell et al., 2015; Wilson, Newton, Murphy & Humphries, 1993). La mayoría de estos estudios han evaluado el efecto del entrenamiento analizando exclusivamente las modificaciones en la altura saltada tras el entrenamiento. Debido a ello, existe un importante desconocimiento sobre los factores que provocan esa modificación tras el entrenamiento (Perez-Gomez & Calbet, 2013).

Algunos trabajos han examinado las variables biomecánicas relacionadas con el salto vertical en estudios transversales (González-Badillo & Marques, 2010; McBride, Kirby, Haines & Skinner, 2010). Otros estudios han evaluado cómo los cambios en variables relacionadas con la aplicación de fuerza, velocidad y desplazamiento del centro de gravedad modifican el rendimiento del salto vertical (Kirby, McBride, Haines & Dayne, 2011; Salles, Baltzopoulos & Rittweger, 2011). Sin embargo, la mayoría de los trabajos que han evaluado las mejoras en el salto vertical tras el entrenamiento solamente han utilizado la altura saltada para comprobar el efecto en el rendimiento, dejando sin evaluar aquellas

variables biomecánicas que determinan el rendimiento en el salto vertical (Perez-Gomez & Calbet, 2013).

Son escasos los estudios que han analizado los efectos de distintos métodos de entrenamiento en variables biomecánicas de aplicación de fuerza, velocidad y desplazamiento del centro de gravedad durante el salto vertical. Los resultados de estos estudios han sido contradictorios (Arabatzí, Kellis & De Villarreal, 2010; Cormie, McGuigan & Newton, 2010a, 2010b, 2010c; Markovic, Mirkov, Knezevic & Jaric, 2013). Mejoras en el salto vertical tras el entrenamiento han ido acompañadas en ocasiones con incrementos y, en otras ocasiones, manteniéndose sin cambios en: la fuerza máxima (Cormie, McGuigan & Newton, 2010a, 2010b, 2010c; Markovic, Mirkov, Knezevic & Jaric, 2013), la fuerza en el inicio de la fase de subida del salto (Cormie, McGuigan & Newton, 2010b; Markovic, Mirkov, Knezevic, & Jaric, 2013) o en el desplazamiento del centro de gravedad (Arabatzí, Kellis & De Villarreal, 2010; Cormie, McGuigan & Newton, 2010a, 2010b, 2010c; Markovic, Mirkov, Knezevic & Jaric, 2013). Además, variables como la velocidad de bajada del centro de gravedad durante el contramovimiento del salto vertical, han mostrado una relación inversa con el rendimiento en el salto vertical (González-Badillo & Marques, 2010) y, sin embargo, esta variable no ha sido analizada en la mayoría de los trabajos publicados. Por tanto, nuevas investigaciones parecen necesarias para asegurar que estamos realizando una correcta interpretación de los efectos que tienen los distintos entrenamientos en las variables biomecánicas que influyen en el rendimiento del salto vertical.

La evaluación de distintos métodos de entrenamiento podría explicar las discrepancias encontradas en los parámetros biomecánicos que han sido analizados. La mayoría de estudios que han incorporado un análisis más completo de variables biomecánicas, que explican las modificaciones alcanzadas en el salto vertical, han sido realizados con entrenamiento que incorporaban pesas exclusivamente (Cormie, McGuigan & Newton, 2010a, 2010b, 2010c). Sin embargo, un análisis profundo de las variables biomecánicas que determinan el salto, en entrenamientos que combinen pesas y pliometría han recibido una menor atención en la literatura (Arabatzí, Kellis & De Villarreal, 2010), a pesar de que este

método de entrenamiento podría ser con el que mayores mejoras se consiguen en el salto vertical (Perez-Gomez & Calbet, 2013). Por este motivo, se necesitan más estudios a la hora de avanzar en la comprensión del efecto que tiene este tipo de entrenamiento en las variables biomecánicas que determinan el salto vertical. Por tanto, el propósito de la presente investigación fue determinar y comparar el efecto de un entrenamiento combinado de fuerza y pliometría en el rendimiento del salto vertical y en los parámetros de aplicación de fuerza, velocidad y desplazamiento del centro de gravedad durante el salto vertical.

## Metodología

### Participantes

Veinticinco jugadoras de baloncesto participaron en la presente investigación (Tabla 1). Todas las participantes tenían una experiencia mínima de 5 años como jugadoras de baloncesto y teniendo experiencia en entrenamiento del salto vertical, tanto las propias del deporte como en entrenamientos para su mejora. Ninguna de las jugadoras había presentado lesión musculoesquelética, al menos, en los 6 meses previos a la participación del estudio. El estudio contó con la aprobación del Comité de Ética de la Universidad Pablo de Olavide y todos los participantes dieron el consentimiento informado antes de participar en el estudio.

### Diseño

La presente investigación fue diseñada para comparar el rendimiento en el salto vertical y las adaptaciones cinéticas y cinemáticas tras un programa de entrenamiento combinado de fuerza y pliometría. Para investigar esto, 25 jugadoras de baloncesto fueron aleatorizadas de acuerdo con la altura alcanzada en el test de salto con contramovimiento (descrito en el procedimiento) y asignados en los siguientes grupos: Grupo de entrenamiento ( $n = 13$ ) y control ( $n = 12$ ). No se dividieron entre titulares o suplentes debido a que en ocasiones las suplentes podían llegar a jugar durante más tiempo que las titulares. El grupo de entrenamiento realizó dos sesiones semanales, además de las sesiones de entrenamiento en pista, y el grupo control continuó con las sesiones de baloncesto en pista. Las sesiones de entrenamiento en pista eran un total de tres sesiones semanales a las que se le sumaba un partido semanal. La duración de cada sesión de entrenamiento era de 90 minutos y los entrenadores decidían el tipo y la intensidad de los ejercicios que se desarrollaban.

Se midieron la altura saltada, aplicación de fuerza, velocidad y desplazamiento del centro de gravedad durante el salto con contramovimiento fueron evaluadas antes y después del entrenamiento.

### Procedimiento

Las participantes desarrollaron sesiones de familiarización que finalizaban en el momento en el que demostraban que eran capaces de ejecutar de forma correcta y consistente el salto con contramovimiento y los ejercicios de entrenamiento propuestos (en el caso del grupo de entrenamiento), bajo la supervisión de los investigadores. Debido a la experiencia previa con la que partían las jugadoras, dos sesiones de familiarización fueron suficientes para garantizar la correcta ejecución de los saltos y ejercicios. El test de salto con contramovimiento fue llevado a cabo 72 horas antes y después de las 6 semanas de entrenamiento. Todas las sesiones de evaluación y entrenamiento fueron llevadas a cabo en el mismo laboratorio y a la misma hora del día por cada participante. Las condiciones medioambientales fueron similares durante las sesiones de evaluación y entrenamiento.

Antes de la realización del test de salto vertical, todos los participantes realizaron 10 minutos de calentamiento general incluyendo: 2 minutos de carrera continua, ejercicios de estiramientos dinámicos y una serie de 6 saltos submáximos (Vetter, 2007). Tras el calentamiento, las participantes realizaron 5 saltos máximos con contramovimiento y la importancia de saltar lo más alto posible en cada salto fue puesta de manifiesto. Las participantes mantuvieron los brazos en jarra desde el

Tabla 1.

Características iniciales de los grupos (Media  $\pm$  DE)

Grupo	Edad (años)	Estatura (m)	Peso (kg)
Entrenamiento	23,00 $\pm$ 2,94	1,68 $\pm$ 0,10	60,14 $\pm$ 12,44
Control	22,58 $\pm$ 7,28	1,69 $\pm$ 0,06	65,77 $\pm$ 8,29

Tabla 2.

Programa de entrenamiento.

Ejercicios	Semanas					
	1	2	3	4	5	6
Sentadilla profunda	3 x 6 (1 m/s)	3 x 6 (1 m/s)	3 x 6 (0,9 m/s)	3 x 4 (0,8 m/s)	4 x 4 (0,8 m/s)	3 x 3 (0,8 m/s)
Salto repetidos	5x5	5x5	6x5	6x5	7x5	4x5

inicio hasta la caída en todos los saltos ejecutados. El test de salto con contramovimiento fue ejecutado sobre una plataforma de fuerza (Quattro Jump, Kistler 100 Instrument AG, Winterthur, Switzerland) registrando a una frecuencia de 500 Hz.

Antes de la sesión de evaluación de sentadilla profunda, las participantes realizaron movilidad articular, 5 repeticiones de sentadilla profunda sin resistencia y 2 series de 5 repeticiones con 10 kg de peso. La medición consistió en un test isoinercial de sentadilla profunda, ejecutado en una máquina Smith (Multipower Fitness Line, Peroga, Murcia, España), en el que se iban incrementando los pesos. Gonzalez-Badillo et al. (2015) ofrecen una descripción completa del procedimiento del test que fue utilizado en este estudio (González-Badillo et al., 2015). Un transductor lineal de velocidad (T-Force System, Ergotech, Murcia, España) ofrecía la velocidad media propulsiva de la barra en cada repetición. Las participantes realizaron la fase de subida de la sentadilla profunda a la mayor velocidad posible y la fase de baja a una velocidad controlada. La carga inicial fue de 17 kg y fue incrementada progresivamente, el test finalizaba cuando las participantes alcanzaban una velocidad de 1 m/s (0,96-1,04 m/s) de velocidad media propulsiva en la fase de subida (González-Badillo et al., 2015). Las participantes ejecutaron tres repeticiones por cada carga y tuvieron un descanso de tres minutos entre serie.

### Programa de entrenamiento

El calentamiento, de siete minutos de duración, consistía en carrera, ejercicios de movilidad articular y dos series de sentadilla completa. En la tabla 2 se puede observar una descripción completa del entrenamiento que se llevó a cabo. El entrenamiento tuvo una duración total de 12 sesiones, en días no consecutivos, durante las seis semanas que duró la intervención. Cada sesión tenía una duración aproximada de 35 minutos y era realizada antes del entrenamiento en pista de las jugadoras. Se realizaban sentadilla profunda en la máquina Smith, con una carga relativa, y saltos repetidos, sin carga, con la instrucción de saltar lo más alto posible en cada salto y conseguir que el tiempo de contacto fuera corto. La resistencia relativa de la sentadilla profunda de cada jugadora fue asignada de acuerdo a la velocidad media propulsiva de la barra durante el test progresivo de sentadilla. La carga de la sentadilla profunda fue recalculada en cada sesión. Entre cada serie de sentadilla, las jugadoras contaron con 3 minutos de descanso y, entre cada serie de salto repetido, contaron con 1 minuto y 30 segundos de descanso. Todas las sesiones de entrenamiento fueron supervisadas por los investigadores.

### Análisis de los datos

Las medidas de fuerza y tiempo de los saltos con contramovimiento de la plataforma de fuerzas fueron analizadas a través de la relación impulso-momento (Linthorne, 2001). El impulso neto fue obtenido integrando la fuerza neta vertical con respecto al tiempo, a partir de los dos segundos previos a la detección del primer movimiento del participante (Street, McMillan, Board, Rasmussen & Heneghan, 2001). Tanto el inicio del movimiento como el instante de batida fueron determinados a partir del análisis de las fuerzas residuales según la propuesta de Street et al. (2001). Posteriormente, la velocidad vertical del centro de gravedad fue calculada dividiendo el impulso neto de cada participante por su masa corporal. El desplazamiento vertical del centro de gravedad fue obtenido a través de la integración de la velocidad vertical del centro de gravedad. Todas las variables de fuerza fueron normalizadas en fun-



ción del peso corporal para excluir la influencia del peso en los resultados. Varios parámetros de rendimiento fueron determinados durante el salto con contramovimiento: la fuerza mínima durante el contramovimiento, la fuerza en el inicio de la fase ascendente del movimiento y el pico de fuerza. Se calculó la máxima velocidad vertical del centro de gravedad en la fase de bajada y de subida, así como la profundidad del contramovimiento (punto más bajo alcanzado por el centro de gravedad durante el contramovimiento).

### Análisis estadístico

Las medias y desviaciones estándar fueron calculadas para todas las variables. El cambio relativo en las variables fue expresado con un intervalo de confianza fijado al 90%. El tamaño del efecto para las comparaciones intra-grupo e inter-grupo fue calculado y se establecieron los siguientes umbrales:  $>0,2$  (pequeño),  $>0,6$  (moderado) y  $>1,2$  (largo) (Hopkins, Marshall, Batterham & Hanin, 2009). Los cambios en las variables analizadas fueron expresados en función del menor cambio significativo, basado en el principio del tamaño del efecto de Cohen:  $0,2 \times$  la desviación estándar entre-atletas (Hopkins, Marshall, Batterham & Hanin, 2009). El cambio cuantitativo del efecto positivo o negativo fue evaluado cualitativamente del siguiente modo: 25 – 75%, posible; 75 – 95%, probable, 95 – 99%, muy probable;  $> 99\%$ , prácticamente seguro. Si la probabilidad del efecto era positivo o negativo en ambos casos superior al 5%, el efecto era considerado confuso (Buchheit & Mendez-Villanueva, 2014). Para que el efecto fuera considerado substancial, la probabilidad debía ser superior al 75% (Suarez-Arrones, Núñez, Munguía-Izquierdo, Portillo & Mendez-Villanueva, 2013; Suarez-Arrones et al., 2015).

Tabla 3.  
Cambios en las variables biomecánicas entre el Pre-test y el Post-test para cada grupo.

Variables	Grupo de entrenamiento			Grupo control		
	Pre-test	Post-test	ES $\pm$ DE	Pre-test	Post-test	ES $\pm$ DE
Hmax (m)	$0,34 \pm 0,03$	$0,38 \pm 0,05$	$1,08 \pm 0,30^{***}$	$0,33 \pm 0,03$	$0,34 \pm 0,03$	$0,10 \pm 0,23$
Fmin (BW)	$0,43 \pm 0,20$	$0,37 \pm 0,18$	$-0,50 \pm 0,52^*$	$0,59 \pm 0,12$	$0,60 \pm 0,10$	$0,05 \pm 0,31$
F <sub>crouch</sub> (BW)	$2,13 \pm 0,27$	$2,16 \pm 0,20$	$0,12 \pm 0,29$	$2,07 \pm 0,23$	$1,97 \pm 0,21$	$-0,42 \pm 0,23^*$
Fmax (BW)	$2,21 \pm 0,24$	$2,23 \pm 0,19$	$0,10 \pm 0,30$	$2,21 \pm 0,23$	$2,12 \pm 0,20$	$-0,35 \pm 0,26^*$
Vmin ( $m \cdot s^{-1}$ )	$-1,01 \pm 0,14$	$-1,15 \pm 0,19$	$-0,81 \pm 0,48^{**}$	$-0,88 \pm 0,14$	$-0,86 \pm 0,13$	$0,13 \pm 0,27$
Vmax ( $m \cdot s^{-1}$ )	$2,26 \pm 0,14$	$2,41 \pm 0,20$	$0,95 \pm 0,26^{***}$	$2,25 \pm 0,10$	$2,24 \pm 0,11$	$-0,15 \pm 0,21$
Crouch (m)	$-0,26 \pm 0,03$	$-0,28 \pm 0,06$	$-0,63 \pm 0,63^*$	$-0,25 \pm 0,04$	$-0,25 \pm 0,05$	$0,04 \pm 0,29$

Abreviaturas: ES, effect-size; Hmax, altura máxima; Fmin, fuerza mínima; F<sub>crouch</sub>, fuerza en la posición más profunda del contramovimiento; Fmax, pico de fuerza; Vmin, velocidad mínima; Vmax, velocidad máxima; Crouch: posición más profunda del contramovimiento. Cambio \*probablemente substancial, \*\* muy probablemente substancial, \*\*\*prácticamente seguro substancial.

### Resultados

Las medias y la desviación estándar del pre-test y el post-test del grupo de entrenamiento y del grupo control se presentan en la Tabla 3. Se encontraron cambios substanciales en la altura del salto vertical tras el entrenamiento, siendo la probabilidad de que las modificaciones fueran ciertas de 100/0/0 (positiva/no clara/negativa). El incremento fue del 12,2% mostrando un tamaño del efecto moderado.

No se encontraron diferencias substanciales en ninguno de los parámetros de aplicación de fuerza tras la intervención en el grupo de entrenamiento, excepto en la fuerza mínima, donde se encontró un tamaño del efecto pequeño, pero substancialmente menor. Por otro lado, las diferencias fueron substanciales en las velocidades del centro de gravedad. La velocidad máxima negativa alcanzada durante la fase de bajada fue un 14,0% superior (0/2/98) a la del pre-test y la velocidad máxima positiva alcanzada durante la fase de subida fue un 6,4% mayor (100/0/0) tras el entrenamiento. Del mismo modo, tras la intervención, se encontró un incremento en la profundidad del contramovimiento de un 10,9%, que fue substancial (2/10/88) y mostró un tamaño del efecto moderado. Los resultados entre el grupo de entrenamiento y el grupo control se encuentran en la Figura 1. Tras el entrenamiento combinado de fuerza y pliometría, se encontraron cambios moderados en el tamaño

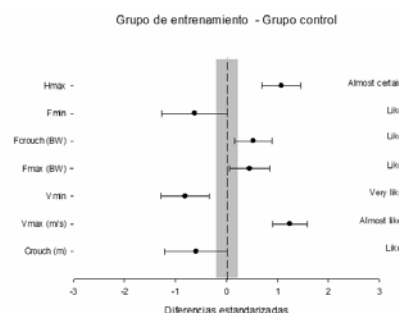


Figura 1. Cambios relativos entre el grupo entrenamiento y el grupo control para las variables biomecánicas analizadas. Hmax: altura máxima, Fmin: fuerza mínima, F<sub>crouch</sub>: fuerza en la posición más profunda del contramovimiento, Fmax: pico de fuerza, Vmin: velocidad mínima, Vmax: velocidad máxima y Crouch: posición más profunda del contramovimiento. Las barras indican la desviación estándar de la media verdadera a un intervalo de 90% de confianza. El área trivial está indicada en gris y fue calculada a partir del mínimo cambio significativo (ver en el método).

del efecto y substancialmente probables en todas las variables analizadas del grupo de entrenamiento en comparación con el grupo control (variables de aplicación de fuerza, velocidad y desplazamiento del centro de gravedad).

### Discusión

El principal hallazgo de la presente investigación fue que el rendimiento en el salto vertical se incrementó tras la intervención en comparación con el grupo control y se produjeron modificaciones en las variables biomecánicas analizadas.

Los resultados mostraron que, durante la temporada, un grupo de jugadoras que entrenaba y competía de forma frecuente, fue capaz de mejorar el rendimiento de manera substancial con tan solo dos sesiones de 35 minutos de entrenamiento combinado de fuerza y pliometría. Investigaciones previas ya habían mostrado que el entrenamiento combinado de fuerza y pliometría era efectivo para conseguir mejorar en el salto (Perez-Gomez & Calbet, 2013), aunque existía una falta de información en cuanto a las modificaciones que podrían existir en las variables biomecánicas que explican la mejora del rendimiento. Investigaciones previas habían encontrado incrementos en variables relacionadas con la aplicación de fuerza en intervenciones que incorporaban sentadillas y saltos con carga, tanto en fuerza máxima como en la fuerza en la posición más profunda del contramovimiento (Cormie, McGuigan & Newton, 2010a, 2010b, 2010c). Por el contrario, nuestro estudio no muestra modificaciones en estos parámetros, tras la intervención en el grupo de entrenamiento. Estas discrepancias en los resultados pueden ser debidas al incremento en la profundidad del contramovimiento que se encontró en nuestro estudio tras el entrenamiento. Es sabido que un contramovimiento más profundo da lugar a menores valores en las variables de aplicación de fuerza (Kirby, McBride, Haines & Dayne, 2011; Salles, Baltzopoulos & Rittweger, 2011). La posibilidad de mantener un mismo nivel de fuerza desde una profundidad mayor podría permitir estar aplicando la misma cantidad de fuerza durante un mayor recorrido, lo que podría conseguir incrementar el impulso realizado durante la fase de subida e incrementar la altura conseguida en el salto. Por este motivo, la capacidad de una jugadora de mantener el mismo nivel de fuerza cuando realiza un contramovimiento más profundo podría verse como una adaptación positiva tras el entrenamiento. En cuanto a la fuerza mínima, se obtuvieron valores inferiores tras el entrenamiento. Puede ser considerado una adaptación positiva, ya que, permitiría conseguir una mayor velocidad negativa durante la fase de contramovimiento y, ésta velocidad, ha sido relacionada con incrementos en la altura saltada (González-Badillo & Marques, 2010). De acuerdo con otras investigaciones, la velocidad vertical del centro de gravedad durante la fase de bajada y de subida se incrementaron tras la intervención (Cormie, McGuigan & Newton, 2010a, 2010b, 2010c). Debido a la relación establecida entre la velocidad máxima negativa durante el contramovimiento y la altura del salto (González-Badillo & Marques, 2010), los incrementos en la velocidad máxima durante el



contramovimiento podrían ser considerados un factor importante a la hora de explicar las mejoras alcanzas en el rendimiento del salto vertical. En base a las modificaciones producidas con el entrenamiento, podríamos decir que el entrenamiento combinado de fuerza y pliometría no solo aumenta los valores de fuerza, sino que provoca modificaciones en la forma de ejecutar el salto, dando lugar a una mayor profundidad y velocidad del centro de gravedad durante el contramovimiento. Son necesarias más investigaciones para corroborar estos resultados y para valorar el efecto de otros métodos de entrenamiento sobre las variables biomecánicas que determinan el salto vertical, ya que a tenor de lo visto, en función del tipo de entrenamiento, el efecto en las variables biomecánicas del salto vertical puede ser modificado.

La mejora producida por el entrenamiento combinado de fuerza y pliometría fue capaz de incrementar tanto el rendimiento en salto vertical como todas las variables biomecánicas que son relevantes en el salto vertical, en comparación con el grupo control. Al igual que en otras investigaciones, cuando se comparó el efecto en el salto vertical y en las variables biomecánicas que lo determinan entre el grupo de entrenamiento y el grupo control, las variables mostraron un efecto positivo tras la intervención (Arabatzí, Kellis & De Villarreal, 2010; Cormie, McGuigan & Newton, 2010a, 2010b, 2010c). Aunque pudieran parecer contradictorios estos resultados con lo descrito en el párrafo anterior referente a las variables de fuerza (no hubo diferencia entre el pre-test y el post-test del grupo de entrenamiento), podemos hallar una explicación. El grupo control disminuyó su fuerza y, por ello, existió una diferencia substancial en cuanto a la comparación de la ganancia de ambos grupos. Esto podría significar que, durante la temporada, si las jugadoras no realizan un trabajo de fuerza y tan solo desarrollan sesiones en pista, las sesiones de campo pueden no ser suficientes para mantener niveles elevados de fuerza, dando lugar, como mínimo, a pérdidas en el rendimiento del salto vertical. Por este motivo, parece recomendable la inclusión de un entrenamiento combinado de fuerza y pliometría durante la temporada ya que parece ser un método efectivo para incrementar o mantener los niveles de fuerza y el salto vertical.

## Conclusión

Un entrenamiento combinado de fuerza y pliometría de 6 semanas, durante la temporada, con un volumen e intensidad bajo, fue efectivo para mejorar el rendimiento del salto vertical en jugadoras de baloncesto a nivel competitivo. Los efectos del entrenamiento combinado de fuerza y pliometría provocaron modificaciones en las variables biomecánicas del salto vertical, aumentando la profundidad y velocidad del centro de gravedad en la ejecución de los mismos y consiguiendo mantener los valores de aplicación de fuerza. Futuras investigaciones deberían evaluar el efecto de intervenciones de mayor duración y con diferentes intensidades, para valorar el efecto tanto en el rendimiento del salto vertical como en las variables biomecánicas que lo determinan.

## Referencias

- Arabatzí, F., Kellis, E., & De Villarreal, E. (2010). Vertical jump biomechanics after plyometric, weight lifting, and combined (weight lifting+ plyometric) training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(9), 2440-2448.
- Buchheit, M., & Mendez-Villanueva, A. (2014). Effects of age, maturity and body dimensions on match running performance in highly trained under-15 soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 32(13), 1271-1278.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2010a). Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(8), 1582-1598.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2010b). Changes in the eccentric phase contribute to improved stretch-shorten cycle performance after training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(9), 1731-1744.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2010c). Influence of strength on magnitude and mechanisms of adaptation to power training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(8), 1566-1581.
- Fagnani, F., Giombini, A., Di Cesare, A., Pigozzi, F., & Di Salvo, V. (2006). The effects of a whole-body vibration program on muscle performance and flexibility in female athletes. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 85(12), 956-962.
- González-Badillo, J. J., & Marques, M. C. (2010). Relationship between kinematic factors and countermovement jump height in trained track and field athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(12), 3443-3447.
- González-Badillo, J. J., Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Abad-Herencia, J. L., del Ojo-López, J. J., & Sánchez-Medina, L. (2015). Effects of velocity-based resistance training on young soccer players of different ages. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(5), 1329-1338.
- Hopkins, W., Marshall, S., Batterham, A., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(1), 3.
- Kirby, T. J., McBride, J. M., Haines, T. L., & Dayne, A. M. (2011). Relative net vertical impulse determines jumping performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 27(3), 207-214.
- Kotzamanidis, C. (2006). Effect of plyometric training on running performance and vertical jumping in prepubertal boys. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(2), 441-445.
- Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69(11), 1198-1204.
- Markovic, S., Mirkov, D. M., Knezevic, O. M., & Jaric, S. (2013). Jump training with different loads: effects on jumping performance and power output. *European Journal of Applied Physiology*, 113(10), 2511-2521.
- Matavulj, D., Kukolj, M., Ugarkovic, D., Tihanyi, J., & Jaric, S. (2001). Effects of plyometric training on jumping performance in junior basketball players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41(2), 159.
- McBride, J. M., Kirby, T. J., Haines, T. L., & Skinner, J. (2010). Relationship between relative net vertical impulse and jump height in jump squats performed to various squat depths and with various loads. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(4), 484-496.
- Pareja Blanco, F., Rodríguez Rosell, D., Sánchez Medina, L., Sanchis Moysi, J., Dorado, C., Mora Custodio, R., . . . Calbet, J. (2016). Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. (Ahead of print)
- Perez-Gomez, J., & Calbet, J. (2013). Training methods to improve vertical jump performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 53(4), 339-357.
- Rodríguez-Rosell, D., Franco-Marquez, F., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., Yáñez-García, J., González-Suárez, J., & González-Badillo, J. (2015). Effects of 6-Weeks Resistance Training Combined With Plyometric and Speed Exercises on Physical Performance of Pre-Peak Height Velocity Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 11(2), 240-246.
- Salles, A. S., Baltzopoulos, V., & Rittweger, J. (2011). Differential effects of countermovement magnitude and volitional effort on vertical jumping. *European Journal of Applied Physiology*, 111(3), 441-448.
- Street, G., McMillan, S., Board, W., Rasmussen, M., & Heneghan, J. M. (2001). Sources of error in determining countermovement jump height with the impulse method. *Journal of Applied Biomechanics*, 17(1), 43-54.
- Suarez-Arrones, L., Núñez, J., Munguía-Izquierdo, D., Portillo, J., & Mendez-Villanueva, A. (2013). Impact of several matches in a day on physical performance in rugby sevens referees. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(5), 496-501.
- Suarez-Arrones, L., Núñez, J., Sáez, d. V. E., Gálvez, J., Suarez-Sanchez, G., & Munguía-Izquierdo, D. (2015). Repeated-High Intensity Running Activity and Internal Training Load of Elite Rugby Sevens Players During International Matches: A Comparison Between Halves. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(4), 495-499.
- Vetter, R. E. (2007). Effects of six warm-up protocols on sprint and jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(3), 819-823.
- Wilson, G. J., Newton, R. U., Murphy, A. J., & Humphries, B. J. (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(11), 1279-1286.

